



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISA KEGAGALAN BAUT ROCKER ARM
PADA OK MILL FLSmidth 42-4 DI PABRIK
TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO)
TBK.**

Chalid Maulidi
NRP. 2110 100 706

Dosen Pembimbing:
Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc., PhD

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**ROCKER ARM BOLT FAILURE ANALYSIS ON
OK MILL FLSmidth 42-4 AT PLANT TUBAN 1
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK.**

Chalid Maulidi
NRP. 2110 100 706

STUDENT ADVISOR:
Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc., PhD

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FAKULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TEKNOLOGY
SURABAYA 2016

**ANALISA KEGAGALAN BAUT ROCKER ARM PADA
OK MILL FLSMIDTH 42-4 DI PABRIK TUBAN 1
PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK.**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

CHALID MAULIDI

NRP. 2110 100 706

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc., PhD.....(Pembimbing)
(NIP. 195208011918031005)
2. Indra Sidharta, ST., MSc.....(Penguji I)
(NIP. 198006192006041004)
3. Ir. Witantyo, M.Eng.....(Penguji II)
(NIP. 196303141988031002)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST., MT.....(Penguji III)
(NIP. 198604012015041001)



**SURABAYA
Juli, 2016**

ANALISA KERUSAKAN BAUT *ROCKER ARM* PADA OK MILL FLSmidth 42-4 DI PABRIK TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK.

Nama mahasiswa : Chalid Maulidi
NRP : 2110 100 706
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Sudijono K., MSc., PhD.

Abstrak

OK Mill FLSmidth 42-4 adalah mesin penggiling material semen berupa clinker, gypsum dan trass. Penggilingan semen pada mesin OK Mill FLSmidth 42-4 terjadi dengan cara material semen digiling dengan roller di atas meja. Mesin memiliki 4 roller yang berada di sisi meja untuk menggiling material. Roller terpasang pada rocker arm. Rocker arm terpasang pada Mill stand melalui poros. Pada ujung poros dipasang baut pengikat untuk menjaga agar poros tidak bergerak ke kanan dan ke kiri. Baut pengikat ini mengalami kerusakan berupa patah sehingga posisi roller mill dapat berubah-ubah. Penelitian ini dapat memberi penyelesaian yang tepat terhadap kerusakan baut ini.

Dalam penelitian tugas akhir dilakukan analisa penyebab kerusakan dengan metode RCFA (Root Cause Failure Analysis) untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan. Dilakukan pengujian komposisi kimia dan pengujian kekerasan untuk memastikan spesifikasi material. Komposisi kimia memastikan kelas dari material sedangkan kekerasan memastikan kemampuan material menahan aus. Perhitungan dilakukan terhadap gaya yang bekerja pada material baut untuk mengetahui kuat atau tidaknya material dalam menahan beban. Pengamatan juga dilakukan pada penampang patah untuk membantu dalam mengidentifikasi jenis patahan..

Berdasarkan hasil analisa dan data-data yang diperoleh. Kegagalan terjadi karena baut dipasang menyalahi prosedur FLSmidth yang berakibat kepada meningkatnya beban kompresi yang diterima baut. Beban kompresi yang diterima belum melewati yield point . tetapi beban kompresi ini menghasilkan torsi yang tinggi yang menyebabkan terjadinya fatigue torsi. Nilai kekerasan dari material ISO 5.6 adalah sebesar 79-95 HRB. Baut yang patah hanya memiliki kekerasan sebesar 77,4 HRB, lebih sedikit daripada standar material ISO 5.6 yaitu 79 – 95 HRB. Rekomendasi yang diberikan adalah dengan pemberian thrust bearing pada ujung baut.

Kata kunci: kegagalan baut, OK Mill, fatigue

ROCKER ARM BOLT FAILURE ANALYSIS ON OK MILL FLSmith 42-4 AT PLANT TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK.

Student Name : Chalid Maulidi
NRP : 2110 100 706
Department : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Advisor : Ir. Sudijono K., MSc., PhD.

Abstrak

42-4 FLSmith OK Mill is grinding machine for cement material such as clinker, gypsum and trass. The grinding on OK MILLFLSmith occurs by cement material was milled with a roller on the table. The machine has four roller that is on the table for grinding material. Roller mounted on a rocker arm. Mill rocker arm mounted on the mill stand through the shaft. bolt fastener mounted At the end of the shaft to keep the shaft from moving to the right and to the left. This bolt damaged so that the position of the roller mill can sway. This research will give a proper solution for these bolts failure.

In this research it analyze the causes of damage with the RCFA method (Root Cause Failure Analysis) to find the cause of the damage. The chemical composition testing and hardness testing is conducted to assure the material specification. The chemical composition test is conducted to assure the property class of material while the hardness test is conducted to test the ability of material to resist wear. and calculation of the forces acting on the bolt is necessary to determine the result that either its able to withstand the load or not. Observations were also performed on a broken cross-section to assist in identifying the the failure category.

Based on the analysis and the data obtained. The failure occurred because of the procedure on mounting bolts violated the original FLSmidth procedures that result in the increase of the compression load received by bolts. The load did not pass over the yield point, but the compression load generate a high torque which cause the occurance of fatigue failure. The broken bolt only has the the hardness amounted to 77.4 HRB, a little under the regulation of material ISO 5.6 which is 79 – 95 HRB. the solution provided is the placement of thrust bearing on the end of the bolt

keyword: Bolt failure, OK Mill, fatigue

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
<i>Abstract</i>	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Vertical Mill</i>	7
2.2 Baut	10
2.3 Investigasi Kerusakan	12
2.4 Penelitian Terdahulu	15
2.5 Analisa patahan.....	18
2.5.1 Patah Lelah (<i>Fatigue Fracture</i>)	18
2.5.2 Analisa Tegangan pada Baut	23
2.6 Model Kerusakan Pada Logam.....	25
2.6.1 Patah Ulet	25
2.6.2 Patah Getas	27
2.6.3 Penggetasan (<i>Embrittlement</i>).....	28
2.6.4 Inklusi (<i>Solid Metal Induced Embrittlement</i>)	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Metodologi Penelitian	32

3.2.1	Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan .	32
3.2.2	Perumusan Masalah dan Tujuan	32
3.2.3	Studi Literatur	33
3.2.4	Pengumpulan Data	33
3.2.5	Analisa Gaya pada Komponen.....	33
3.2.6	Pengamatan Visual	33
3.2.7	Pengujian Komposisi Kimia	33
3.2.8	Pengujian Kekerasan	34
3.2.9	pembahasan dan Analisis Data	34
3.2.10	Kesimpulan dan Saran.....	34
3.3	Peralatan yang Digunakan	34
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Informasi OK Mill FLSmidth 42-4, Baut, dan Data Awal.....	37
4.1.1	Nama dan Spesifikasi	38
4.1.2	Prosedur Pemasangan Baut <i>Rocker Arm</i>	40
4.1.3	Unsur-unsur Penyusun Material Baut <i>Rocker Arm</i>	41
4.1.4	Data Awal Kerusakan	43
4.2.	Analisa Kesesuaian Spesifikasi Baut Dengan Gaya yang Bekerja	45
4.2.1	Mencari Gaya Karena Putaran Motor	45
4.2.2	Menghitung Gaya Gesek	48
4.2.3	Menghitung Gaya Akibat Gaya Tekan Partikel Semen.....	51
4.2.4	Menghitung Gaya Akibat Torsi Awal Pemasangan	52
4.2.5	Menghitung Gaya Gesek BAut yang Dihasilkan oleh Torsi Poros <i>Rocjer Arm</i>	52
4.2.6	Perhitungan Keamanan Baut Sesuai <i>Fluctuating and Shock Load Theory</i>	54
4.3	Menghitung Umur	55
4.4	Pengamatan Visual	57
4.5	Pengujian Kekerasan.....	59

4.6	Diskusi Tentang Penyebab Kerusakan.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	<i>Data Sheet</i> OK Mill FLSmidth 42-4	39
Tabel 4.2	Perbandingan hasil uji komposisi kimia dengan komposisi kimia standar material ISO 5.6.....	41
Tabel 4.3	<i>Mechanical properties of bolts, screws, and studs</i> ISO 898.....	43
Tabel 4.4	Opsi penyelesaian	55
Tabel 4.5	Hasil pengujian <i>Rockwell B</i>	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	(a) Susunan <i>grinding roll</i> dan <i>rocker arm</i> , (b) poros <i>rocker arm</i> yang terpasang di <i>mill stand</i> , (c) baut <i>rocker arm</i>	3
Gambar 1.2	(a) Penampang baut patah, (b) lokasi patah ..	4
Gambar 2.1	<i>OK Mill FLSmidth 42-4</i>	8
Gambar 2.2	Alur uap panas dan jalur material	9
Gambar 2.3	Ulir ISO	10
Gambar 2.4	Terminologi ulir	12
Gambar 2.5	<i>Flowchart</i> prosedur RCFA	14
Gambar 2.6	(a) Penampang material baut patah (b) penampang baut patah dengan pembesaran...	16
Gambar 2.7	(a) Baut press silinder yang patah saat masih terpasang, (b) penampang patahan dan profil beach patahan.....	17
Gambar 2.8	Notasi amplitude beban siklik konstan	18
Gambar 2.9	Tahap <i>fatigue fracture</i>	19
Gambar 2.10	Grafik ketergantungan umur lelah dengan tingkat tegangan	19
Gambar 2.11	Model pengintian retak	20
Gambar 2.12	Mekanisme perambatan retak	22
Gambar 2.13	Skema kegagalan fatigue	23
Gambar 2.14	(a) Mekanisme patah ulet, (b) permukaan patahan ulet.....	26
Gambar 2.15	Patah getas	28
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2	<i>Optical Emission Spectroemtry Oxford Instruments</i>	35
Gambar 3.3	Alat uji kekerasan <i>Rockwell B</i> (merk Frank). ..	33
Gambar 4.1	<i>OK MILL FLsidth 42-4</i>	38
Gambar 4.2	Prosedur asli pemasangan baut <i>rocker arm</i> <i>FLSmidth</i>	41
Gambar 4.3	(a) Baut yang patah, (b) lokasi patah baut	44
Gambar 4.4	<i>Free Body Diagram rocker arm</i>	45

Gambar 4.5	Gaya yang diterima oleh <i>roller</i>	46
Gambar 4.6	Letak sistem hidrolis dan <i>roller</i>	48
Gambar 4.7	Penampang patah baut.....	57
Gambar 4.8	(a) Permukaan patah yang terdeformasi karena beban tekan sehingga membentuk semacam lapisan tipis, (b) permukaan baut yang pecah	59
Gambar 4.9	Material pengujian kekerasan <i>Rockwell B</i>	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. semen gresik pabrik tuban merupakan salah satu dari empat unit pabrik yang dikelola oleh anak perusahaan PT. Semen Indonesia yaitu PT. Semen Gresik. PT. Semen Indonesia mampu memproduksi semen sebanyak 31.8 juta ton pada tahun 2014.

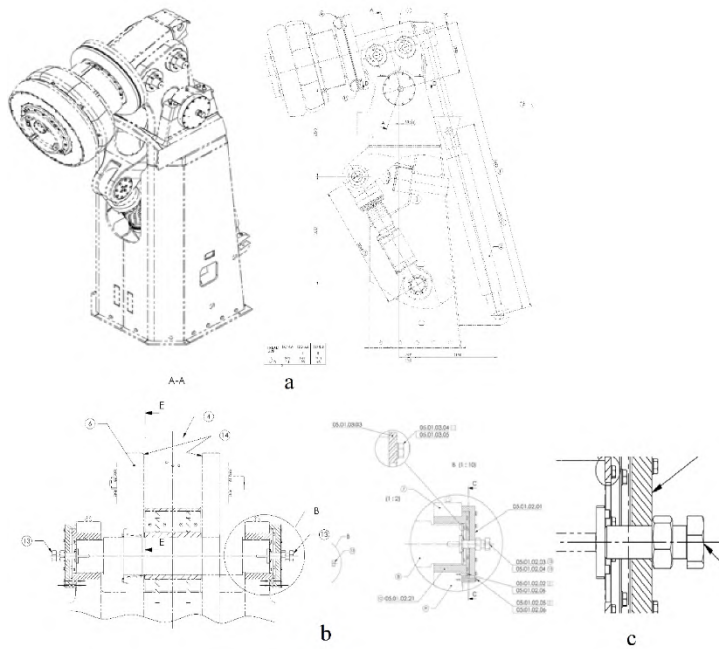
Proses produksi semen terbagi menjadi penambangan, penyiapan bahan baku, pengolahan bahan baku, pembakaran dan pendinginan, dan penggilingan akhir. Bahan baku awal yang ditambang berupa tanah liat, batu kapur, pasir besi dan pasir silica. Tanah liat dan batu kapur yang telah ditambang kemudian diangkut untuk di reduksi ukurannya dengan *crusher* hingga berukuran 90-108 mm. Tanah liat dan batu kapur yang telah dihancurkan kemudian dicampur dengan pasir silica dan pasir besi sebelum dilakukan proses *size reduction* lanjutan. Hasil campuran yang telah berbentuk serbuk ini kemudian dipanaskan dengan *preheater* lalu didinginkan cepat dengan *clinker cooler*. *Clinker* produk *clinker cooler* kemudian dihaluskan lagi di *finishing mill* hingga menjadi serbuk semen siap pakai.

Area finishing mill memiliki 8 area *finishing mill*. *Finish Mill* memakai 2 jenis *mill* yaitu *vertical mill* dan *ball mill*. *Vertical mill* yang digunakan pada area *finsh mill* 7 adalah OK Mill FLSmidth 42-4. OK Mill FLSmidth 42-4 digunakan karena cenderung lebih hemat energi dibandingkan dengan mesin *mill* tipe *ball mill*. *Finishing mill* merupakan proses akhir dari perjalanan produk semen dengan cara menggiling terak, gipsum dan *trass* secara bersamaan untuk memperoleh hasil yang homogen. Bahan tersebut bersama-sama digiling diatas *grinding table* yang memiliki 4 buah *grinding roll*. *Grinding roll* yang berfungsi sebagai penekan material memiliki rata-rata *pressure* sebesar 130 *bar*. *Grinding table* memiliki dua belas segmen, masing-masing segmen memiliki 1 buah pelat *dam ring*. *Dam*

ring berfungsi untuk mencegah material yang digiling keluar dari *grinding table*.

Grinding roll berfungsi untuk menggiling seluruh campuran material secara bersamaan. *Grinding roll* dipasang pada *rocker arm*. *Rocker arm* dipasang pada poros yang bertumpu pada *mill stand*. Ketika terkena beban, lengan ini akan berputar pada poros dan kemudian akan diberi tekanan oleh *hydraulic*.. Diantara poros dan *mill stand* tersebut dipasang *bearing*. Untuk mengatur letak dari lengan *grinding roll*, dipasang baut di masing-masing ujung poros. Baut ini membantu menolak poros bergerak searah *axial* kiri dan kanan ketika dikencangkan. Setelah *grinding roll* berada pada posisi yang tepat. Baut kemudian dikencangkan dengan mur sehingga tidak bergerak lagi.

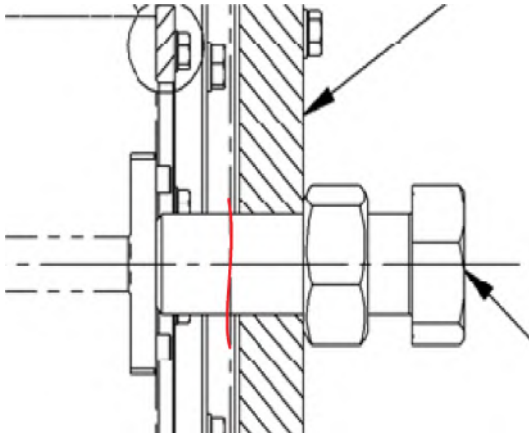
Baut yang mengalami kerusakan adalah baut dengan spesifikasi M90. Baut *rocker arm* mengalami kerusakan pada bulan februari 2016, sejak pertama pemasangan, baut ini baru pertama kali mengalami kerusakan. Kerusakan ini menyebabkan terkendalanya proses produksi. Baut ini memiliki peranan yang cukup besar mengingat baut ini merupakan penahan satu-satunya agar *rocker arm* tidak bergeser dari posisi semula.



Gambar 1.1 (a) Susunan grinding roll dan rocker arm, (b) poros rocker arm yang terpasang di mill stand, (c) baut rocker arm



a



b

Gambar 1.2 (a) Penampang baut patah, (b) lokasi patah

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan baut penyangga *grinding roll* pada OK Mill FLSmidth 42-4. Sehingga dapat mengetahui penyelesaian yang tepat untuk mengatasi kerusakan baut tersebut untuk memperlambat atau mencegah terjadi kerusakan yang sama.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan baut *rocker arm* pada OK Mill FLSmidth 42-4
2. Mengetahui penyelesaian yang tepat untuk mengatasi kerusakan baut *rocker arm* pada OK Mill FLSmidth 42-4.

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang tidak terkontrol yang dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa, maka perlu diberikan batasan terhadap permasalahan:

1. Peralatan yang diteliti adalah baut pengikat poros *rocker arm* pada OK Mill FLSmidth 42-4 Finish Mill 7 pabrik Tuban di PT. Semen Indonesia
2. Temperatur dianggap konstan dan tidak mempengaruhi kerusakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan kepada PT. Semen Indonesia pabrik Tuban adalah sebagai berikut:

1. Bagi dunia industri yang menggunakan OK Mill dengan spesifikasi yang sama, dengan adanya analisa kegagalan ini dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam pencegahan dan pemeliharaan untuk menghindari kerusakan serupa.
2. Bagi kalangan akademis terutama mahasiswa, dengan adanya studi analisis terhadap kegagalan ini diharapkan

mampu menguasai ilmu yang dipakai untuk menganalisa kegagalan semacam ini.

BAB II

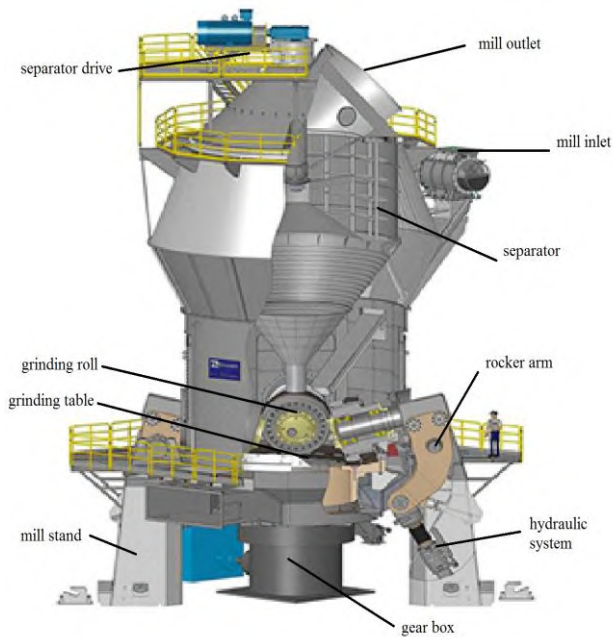
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Vertical Mill*

Vertical Mill adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggiling material pada *finishing mill*. Pada pabrik semen pada umumnya, *vertical mill* digunakan untuk menggiling material semen *clinker*. Pada pabrik Tuban khususnya pada finish mill 8, digunakan *vertical mill* jenis OK Mill FLSmidth 42-4 untuk menggiling *clinker* yang telah diberi tambahan *gypsum* dan *trass*. Hasil penggilingan ini akan menjadi semen siap untuk dikemas.

Akhir-akhir ini proses penggilingan semen semakin canggih seiring banyaknya desakan dari dunia untuk mengefisienkan proses penggilingan semen yang terkenal haus akan power listrik. Salah satu kemajuan yang dicapai adalah penggunaan *vertical mill* sebagai alat penggilingan semen. Banyak keuntungan yang didapat dari penggunaan peralatan *vertical mill* tersebut, diantaranya:

1. Hemat pemakaian listrik.
2. Hemat pemakaian ruang/*space*.
3. Hemat pemakaian peralatan transport. [1]



Gambar 2.1 OK Mill FLSmidth 42-4. [2]

Seperti tampak pada gambar 2.1, Material *clinker* yang telah dicampur dengan *gypsum* dan *trass* akan masuk melalui *mill feed inlet*. Material ini akan masuk dan jatuh di tengah-tengah *grinding table* yang berputar. Terdapat empat *grinding roller* di atas meja yang akan menggiling material. *Grinding roller* dipasang pada *rocker arm* yang terpasang pada *mill stand*. *Rocker arm* terpasang di *mill stand* dengan bantuan poros. Ketika penggilingan terjadi, *hydraulic system* memberikan gaya tekan sebesar 140 bar untuk membantu *grinding roll* agar dapat menggiling dengan baik. Setelah digiling, material dibawa oleh gas panas yang bergerak dari bawah ke atas seperti tampak pada gambar 2.2. Di bagian atas terdapat separator. Material yang telah

digiling akan bergerak masuk separator. Material yang telah mencapai kehalusan yang ditentukan akan keluar. Sedangkan material yang belum halus akan masuk kembali dan jatuh diatas *grinding table* untuk digiling kembali.



Gambar 2. 2 Alur uap panas dan jalur material [2]

Grinding roll dipasang pada *rocker arm*. *rocker arm* ini memiliki poros yang dipasang pada *mill stand*. Ketika penggilingan terjadi, dikarenakan distribusi material yang sering tidak merata diatas meja grinding mengakibatkan *grinding roll* dapat bergerak naik turun. Pergerakan *grinding roll* naik turun bertumpu pada poros. Poros terikat pada *mill stand* dengan bantuan baut di masing-masing ujungnya. Baut ini dipasang pada *bearing house* yang terletak di *mill stand*. Diantara poros dan baut terdapat *pressure plate*. baut ini berukuran M90.

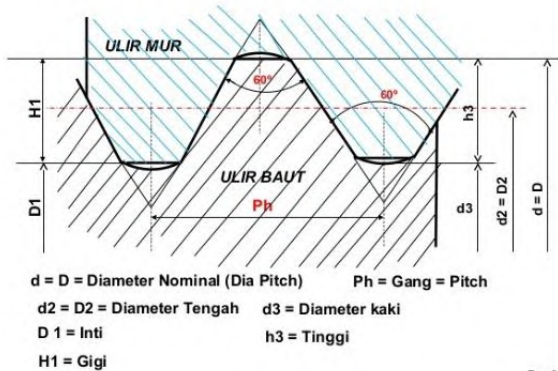
2.2 Baut

Baut merupakan elemen mesin dengan alur heliks pada permukaan yang berfungsi untuk mengikat dua atau lebih komponen (*fastener*) yang bersifat *nonpermanent*, artinya, *fastener* ini dapat dibongkar pasang untuk melepas elemen-elemen mesin yang digabungkan. *Bolt* dapat dikencangkan dan dilepas dengan memberikan torsi pada *bolt head* atau pada *nut*. Berdasarkan bentuk ulirnya, secara umum *bolt* dapat diklasifikasikan menjadi:

- Ulir ISO (*metric*)

Memiliki sudut antara *root* dan *crest* sebesar 60° seperti gambar 2.3

ULIR ISO –METRIK NORMAL



Ems.3. 8-13

Gambar 2.3 Ulir ISO

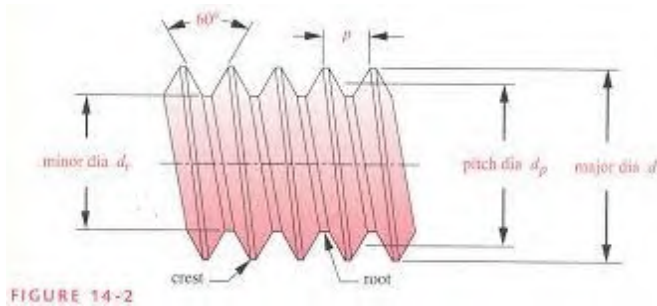
- Ulir UN (united series)
 1. Ulir *whitworth*
 2. Ulir *trapezoidal*
 3. Ulir *knuckle*
 4. Ulir *buttress*

Perbedaan utama dari masing-masing bentuk ulir adalah sudut antara puncak (*crest*) atau lembah (*root*) dengan puncak atau lembah terdekat. Bentuk runcing (V) pada *crest* dan *root* menyebabkan ulir sangat rentan terhadap kerusakan karena adanya konsentrasi tegangan. Oleh karena itu, ujung *crest* dan dasar *root* dibuat rata atau lengkung pada proses *forming*.

Bolt memiliki terminologi yang sering disebut seperti pada gambar 2.4:

- *Pitch* : jumlah ulir dalam satu satuan panjang (mm atau inch).
- *Crest* : jarak terjauh ulir dari sumbu pusatnya.
- *Root* : jarak terdekat ulir dari sumbu pusatnya. Pada ulir ISO dan UN, sudut pada *root* dan *crest* sebesar 60°.
- *Major diameter* : diameter terbesar dari ulir yang diukur dari puncak (*crest*) ke puncak.
- *Minor diameter* *dr* : diameter terkecil dari ulir yang diukur dari pangkal (*root*) ke pangkal.
- *Pitch diameter* *dp* : diameter teoritis yang terletak antara *major* dan *minor diameter*.
- *Lead* : jarak pergerakan ulir yang sejajar dengan sumbu saat *bolt* diputar satu putaran. Pada *single lead*, *lead* dan *pitch* nilainya sama, sedangkan pada *double-threaded bolt*, nilai *lead* dua kali nilai *pitch*, dan seterusnya.

Semua ulir dibuat dengan aturan tangan kanan (*right-hand rule*) dengan beberapa pengecualian sehingga *bolt* mengalami pengencangan saat diputar searah jarum jam, dan sebaliknya.



Gambar 2.4 Terminologi ulir

Berdasarkan hubungan antara arah gaya dengan luas area yang mengalami gaya, pembebanan yang diterima dapat dibagi menjadi:

- Tegangan axial (*axial*): tegangan yang dihasilkan oleh gaya yang arahnya tegak lurus terhadap luasan penampang melintang *bolt* seperti gambar 2.3.
- Tegangan geser (*shear*): tegangan yang dihasilkan oleh gaya yang arahnya sejajar terhadap luasan penampang melintang *bolt* seperti pada gambar 2.4.

2.3 Investigasi Kerusakan

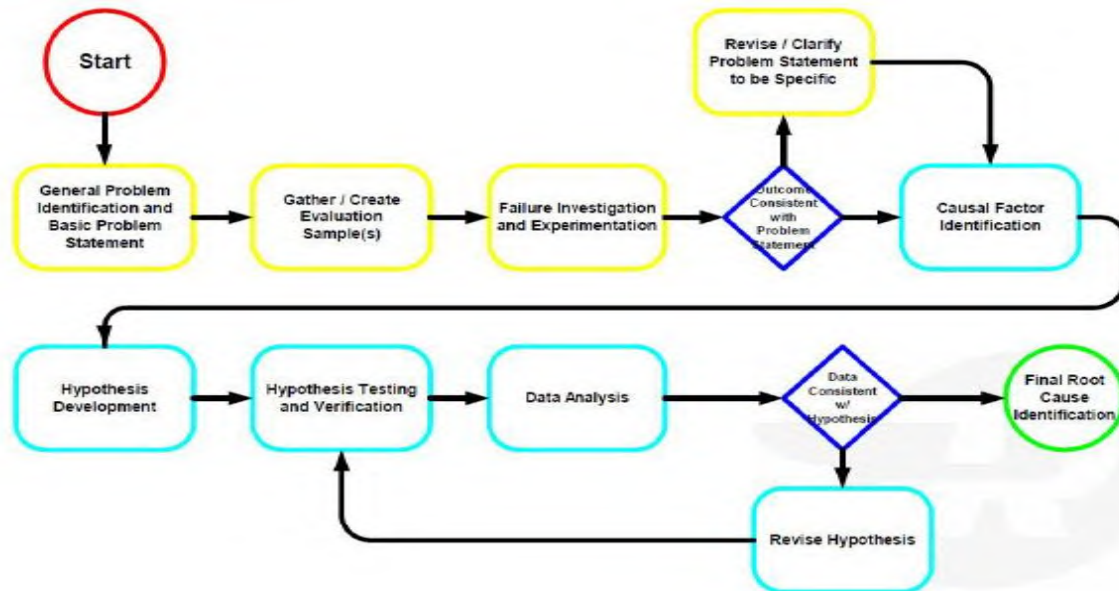
Analisis kegagalan atau investigasi kerusakan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup kondisi komponen tersebut, situasi dan kondisi lingkungan operasional dari komponen tersebut, sehingga dapat diketahui atau ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Menentukan penyebab utama kegagalan komponen tersebut.
2. Meminimalisasi terjadinya kegagalan yang sama pada masa mendatang.
3. Sebagai rujukan teknis mengenai permasalahan dengan kondisi yang sama atau hampir sama.

Investigasi kerusakan atau kegagalan memakai metode *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi. Prosedural RCFA secara umum adalah sebagai berikut: [3]:

1. *General problem identification*
2. *Gather samples*
3. *Causal identification*
4. *Hypothesis development*
5. *Hypothesis testing*
6. *Root cause identification/map*
7. *Conclusion and solution*

Berikut adalah flowchart prosedural *root cause failure* guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi.



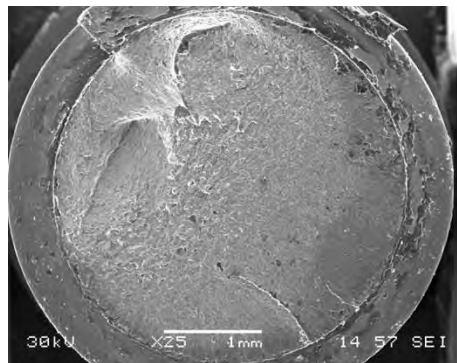
Gambar 2. 5 *Flowchart* prosedur RCFA [3]

2.4 Penelitian Terdahulu

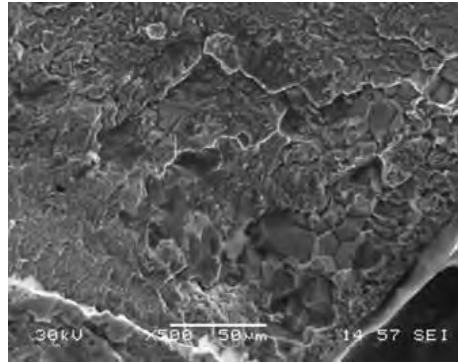
Penelitian terdahulu yang pernah dilakukan adalah:

1. *fatigue of threaded fastener*, Hudgins. Alex, James. Brad, 2014

Dalam penelitian yang dilakukan oleh alex hudgins dan brad james pada tahun 2014, disebutkan bahwa baut sebagaimana komponen *metallic* lainnya, dapat mengalami kegagalan karena *overload*, *corrosion related cracking*, *embrittlement*, *creep*, dan *fatigue*. Spesimen uji berupa baut yang patah kemudian dianalisa dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Material baut yang patah dapat dilihat pada gambar 2.6. Setelah pola patahan dianalisa diketahui bahwa sebab patahan karena lelah (*fatigue*) yang disebabkan oleh 2 hal. Pertama adalah *intergranular crack* yang disebabkan oleh *tempered martensite embrittlement*. Penyebab kedua adalah kurangnya torsi pada saat pemasangan yang menyebabkan kurangnya gaya yang diperlukan untuk menjepit komponen. [5]



(a)

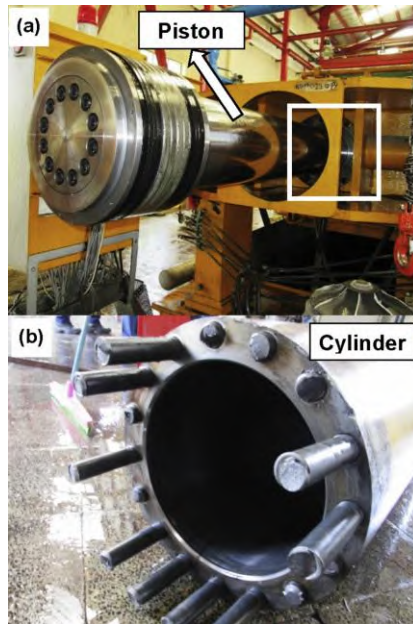


(b)

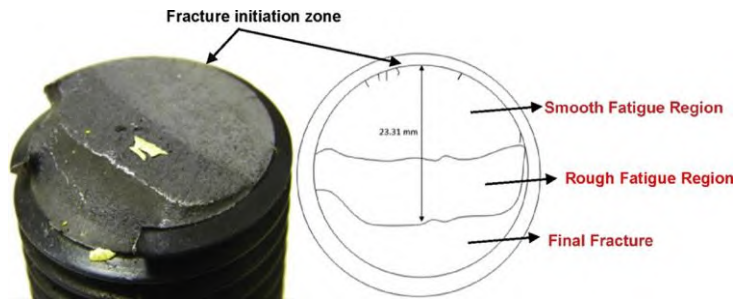
Gambar 2.6 (a) Penampang material baut patah (b) penampang baut patah dengan pembesaran [5]

2. *A failure analysis study on the fractured connecting bolts of a filter press*, Sh. Molaei, R. Alizadeh, M. Attarian, Y. Jaferian, 2015

Penelitian ini dilakukan terhadap *filter press*. Seperti tampak pada gambar 2.7 Terjadi kerusakan pada enam belas baut pengikat pada press silinder. Analisa yang dilakukan pada kondisi pembenan pada baut dan dilakukan analisa fraktografi. Hasil dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa baut patah karena mekanisme *fatigue*. Diketahui juga terdapat torsi yang tidak cukup diberikan terhadap baut pada saat pemasangan.



(a)



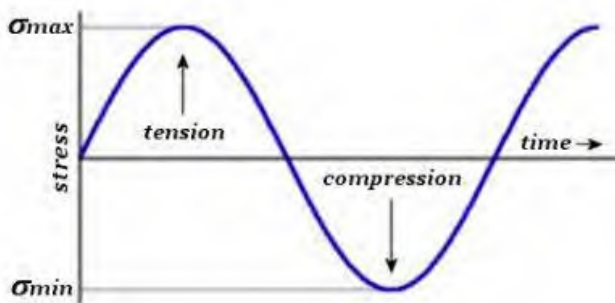
(b)

Gambar 2.7 (a) Baut press silinder yang patah saat masih terpasang, (b) penampang patahan dan profil beach patahan [5]

2.5 Analisa Patahan

2.5.1 Patah Lelah (*Fatigue Fracture*)

Cyclic stress merupakan gaya yang berubah-ubah seiring perubahan waktu secara berulang-ulang. Seperti tampak pada gambar 2.8, *Cyclic stress* tercipta karena beban mekanik yang berubah-ubah, seperti pada roda gigi. Pada kondisi seperti ini, komponen akan rusak pada tegangan dibawah tegangan yang dapat merusak komponen mesin pada kondisi pemebbanan statis. Fenomena ini disebut dengan *fatigue failure* (kelelahan). *Fatigue* merupakan salah satu penyebab utama pada kerusakan pada koponen mekanik. [6]

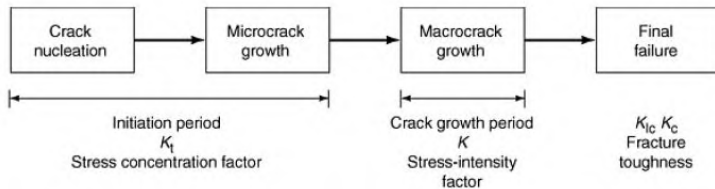


Gambar 2.8 Notasi *amplitude* beban siklik konstan [7]

- **Mekanisme *Fatigue Fracture***

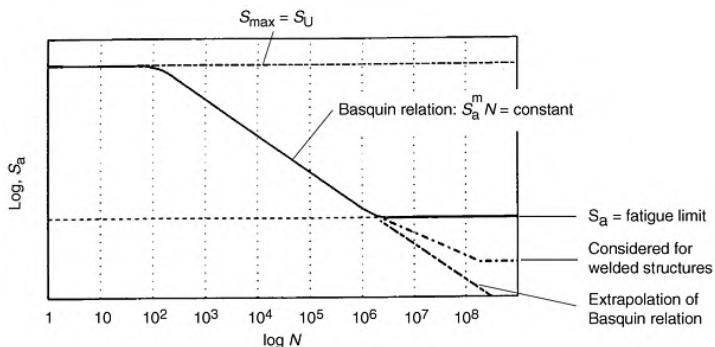
Fatigue fracture bukanlah kerusakan yang terjadi tiba-tiba. Kerusakan jenis ini akan berkembang seiring waktu. Seperti gambar 2.9, *Fatigue fracture* memiliki tiga tahapan, yaitu tahap awal (*crack initiation*), tahap perjalanan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Tahap pertama yaitu *crack initiation* melingkupi pengintian retak (*crack nucleation*) dan perambatan retak mikro (*microcrack growth*). Tahap *microcrack growth* dianggap tahap awal karena retak belum dapat terlihat.

Tahap kedua adalah *macrocrack growth* yang meliputi perambatan retak yang terlihat. Tahap selanjutnya adalah *final failure* dimana material akan patah. [7].



Gambar 2.9 Tahap *fatigue fracture* [7]

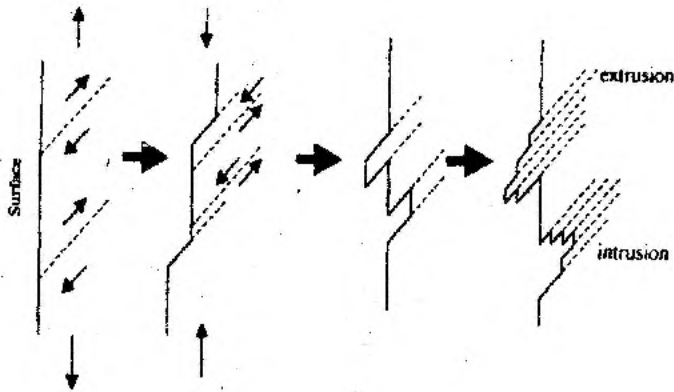
Pada kurva S-N. Umur (N) hingga terjadinya kegagalan diplot berdasarkan *amplitude* tegangan (S_a). Pada gambar 2.10, kurva ini terlihat bahwa material memiliki maksimal *stress* dan *fatigue limit*. *Maximal stress* adalah maksimal gaya yang dapat diterima oleh material dalam sekali pembebanan. Selama tidak melewati maksimal *stress* maka material tidak akan langsung patah. Sedangkan *fatigue limit* adalah minimal gaya yang dapat mematahkan material. Pada gaya di bawah *fatigue limit*, material tidak akan patah walau beri gaya dalam waktu yang sangat lama.



Gambar 2.10 Grafik ketergantungan umur lelah dengan tingkat tegangan [7]

- **Tahap Awal (*Crack Initiation*)**

Crack propagation adalah tahap awal dari terjadinya retakan. Ketika mengalami *cyclic stress*, di permukaan benda akan mengalami pengintian retak. Butir (*grain*) material yang berada di permukaan hanya mengalami kontak dengan butir lain di satu sisi, sedangkan sisi lain adalah lingkungan (udara atau lainnya). Sedangkan di sisi dalam, butiran-butiran akan memberikan tahanan terhadap *slip*. Karena kurangnya tahanan terhadap *slip* di permukaan, *slip* di permukaan dapat terjadi walau hanya diberi gaya dibawah batas kekuatan material (*stress level*) [7]. Model *crack initiation* ini dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut.



Gambar 2. 1 Model pengintian retak [7]

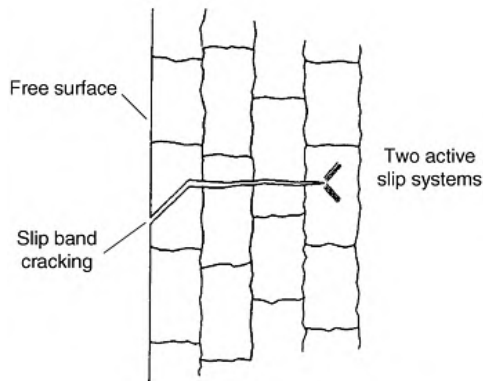
Saat material mendapat beban Tarik pada pertama kalinya, *slip* membentuk permukaan bertingkat dengan sudut 45° terhadap sumbu tegangan akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan *slip* pada arah yang berlawanan. *Slip* terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama, dan selanjutnya diulangi dengan pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi *fase cyclic slip*, *fase pembentukan inti retak (crack nucleation)* dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

- **Tahap Perjalanan Retak (*Crack Propagation*)**

Setelah terjadi pengintian retak dan perambatan retak mikro, jika gaya yang diberikan berada di bawah *fatigue limit* maka retak mikro tidak akan berubah menjadi retak makro. Retak mikro ini akan ditahan pada penghalang mikrostruktur. Jika gaya yang diberikan melebihi *fatigue limit*, maka gaya ini akan terkonsentrasi pada ujung retak.

Awal retak mula-mula akan menjalar pada bidang *slip* di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak akan menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap 1.

Selanjutnya pertumbuhan retak tahap 2 sering ditandai dengan adanya *striasi*. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan maksimum. Retakan mulai menjalar menuju batas butir lain seperti terlihat pada gambar 2.12. Retakan mulai terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu disebut dengan retak makro [8].



Gambar 2.12 Mekanisme perambatan retak [7]

- **Tahap Patah Akhir**

Retak makro merambat sedikit demi sedikit dan bertambah panjang pada setiap siklus pembebanan. Selanjutnya retakan yang semakin memanjang akan mengakibatkan penampang logam semakin kecil. Ketika penampang logam telah mencapai ukuran yang tidak sanggup mendukung beban maka logam akan patah.

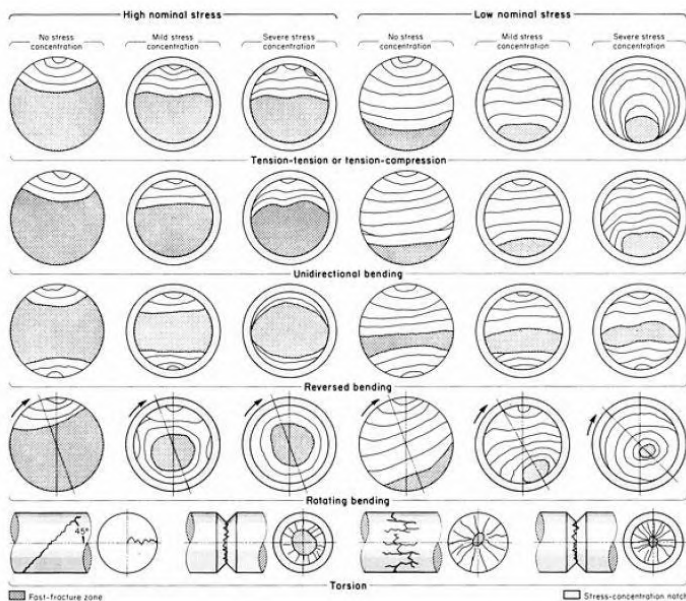
Hasil dari observasi baik secara makro melalui *stereomicroscope* ataupun secara mikro dengan *factography* adalah berupa profil permukaan patahan. Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari modus dan penyebab patahan adalah patah ulet, patah getas, patah lelah (*fatigue*) dan patah merangkak (*creep/monotonic*). Masing-masing dari jenis patahan di atas memiliki karakteristik tersendiri.

Perbedaan karakteristik antara patah lelah dengan patah merangkak adalah:

- *Beach mark* dan *striasi* mengindikasikan patah lelah, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak

terlihat. Pertanda kehadiran *beach marks* bisa diketahui melalui pengamatan mikro *stereomicroscope*, striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan *fractography*.

- Profil *beach marks* dan striasi ini merupakan hasil fluktuasi pembebanan yang diberikan pada benda. Pada gambar 2.13 dijelaskan macam-macam jenis kegagalan *fatigue*.



Gambar 2. 13 Skema kegagalan *fatigue* [7]

2.5.2 Analisa Tegangan pada Baut

- Analisa preload dan torsi pengikat

$$T = C \cdot d \cdot F_i \quad (2.1)$$

Dimana :

d = diameter nominal baut

c = koefisien torsi yang berhubungan dengan gesekan

F_i = beban preload

Koefisien c dapat dihitung dari :

$$c = \frac{d_m}{2d} \left(\frac{\mu_t \cdot \sec \emptyset + \tan \psi}{1 - \mu_t \cdot \sec \emptyset \cdot \tan \psi} \right) + \mu_c \cdot \frac{d_c}{2d} \quad (2.2)$$

Dimana :

d_m = diameter rata-rata = $d + d_r/2$ (in)

d = diameter nominal baut (in)

d_c = diameter rata-rata bidang geser / kompresi pada mur

(in)

μ_t = koefisien gesek ulir baut

μ_c = koefisien gesek permukaan kompresi pada baut atau mur

\emptyset = setengah sudut ulir (deg)

ψ = sudut heliks ulir (deg)

Koefisien torsi ini secara eksperimental mempunyai harga-harga :

$c = 0.2$ (tanpa pelumasan)

$c = 0.15$ (dengan pelumasan)

- ***Fluctuating and Shock Load Theory***

Teori fluktuasi berdasarkan adanya beban kejut dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{S_{yp}}{N} \geq \sqrt{K_{sb} \left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r \right)^2 + 3K_{st} \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r \right)^2} \quad (2.3)$$

Dimana:

S_{yp} adalah *stress yield point* (MPa)

S_{syp} adalah *shear stress yield point* (MPa)

N adalah angka keamanan

K_{sb} adalah *shock factor for bending, tension or compression*

K_{st} adalah *shock factor for torsion*

σ_{avg} adalah tegangan principal rata-rata (MPa)

σ_r adalah *range* tegangan principal (MPa)

τ_{avg} adalah tegangan geser rata-rata (MPa)

τ_r adalah *range* tegangan geser (MPa)

S_e adalah *corrected endurance limit* (MPa)

S_{es} adalah *corrected endurance limit for shear* (MPa)

2.6 Model Kerusakan Pada Logam

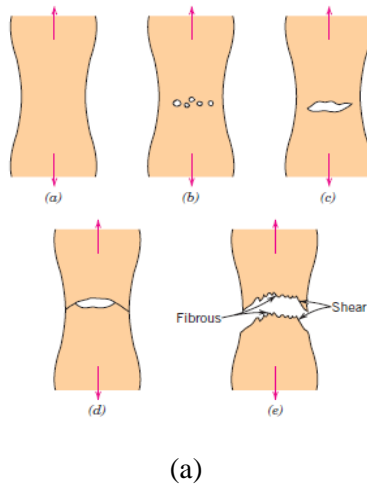
2.6.1 Patah ulet

Patah secara ulet memiliki karakteristik tersendiri terlihat dari permukaan hasil patahan yang dapat dilihat secara mikroskopik maupun makroskopik. Patah secara ulet juga dapat dibedakan atas 2 yaitu patah ulet tingkat tinggi dan tingkat menengah. Patah dengan keuletan tingkat tinggi biasanya terjadi pada material berupa logam lunak seperti emas murni dan timbal pada temperatur kamar dan pada logam lainnya, polimer, dan gelas anorganik pada suhu yang dinaikkan. Jika kita lihat pada gambar 1 poin a, terlihat bahwa material patah secara ulet sempurna dengan memperlihatkan terjadinya *necking* yaitu berupa adanya reduksi luasan dan pertambahan panjang.

Namun, jenis patah ulet yang sering kita lihat setelah dilakukannya pengujian tarik adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar B dimana *necking* hanya terlihat sebagian. Mekanisme patah secara ulet dapat dilihat pada gambar 2.14.

Disini terlihat pada poin a, terjadi istilahnya permulaan *necking*. Lalu pada poin b, terlihat adanya lubang-lubang kecil dan di poin c terlihat lubang-lubang kecil tadi menyatu dan membentuk lubang besar. Di poin d, terjadi rambatan retakan dan

di poin e barulah terjadi fraktur dengan arah patahan membentuk sudut 45^0 terhadap arah tarikan. [9]



Gambar 2.14 (a) Mekanisme patah ulet, (b) permukaan patahan ulet [9]

2.6.2 Patah Getas

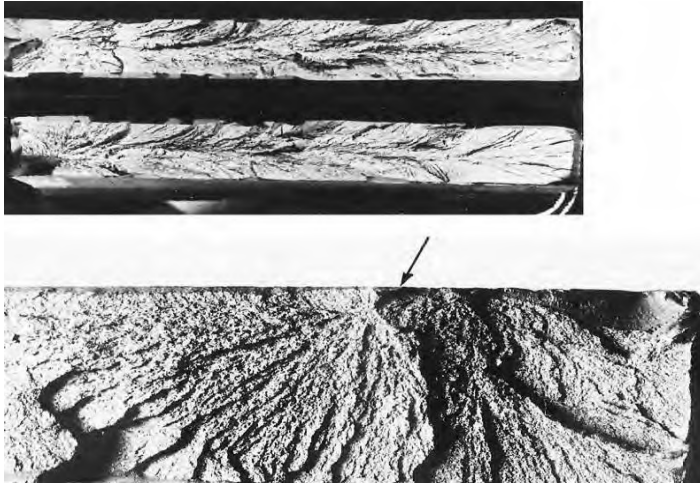
Patah getas tidak mengalami yang namanya deformasi plastis sebelum terjadinya patah dan mengalami perambatan retakan yang sangat cepat. Arah dari retakan sendiri tegak lurus dengan arah tarikan dan memiliki bentuk patahan yang datar.

Bentuk patahan yang terjadi pada patah getas juga memiliki karakteristik tertentu, tidak terdapat adanya tanda- tanda deformasi plastis sebelum patah. Sebagai contoh pada beberapa bagian dari baja terdapat tanda V seperti yang terdapat pada logo Chevron pada daerah dekat patahan. Bentuk lainnya dari patah getas adalah terdapatnya garis dan daerah seperti punggung bukit. Tak jarang, jenis patahan dengan pola diatas tidak dapat dibedakan dengan mata telanjang. Pada baja yang terlalu keras dengan butir baik, pola patahan juga tidak dapat dibedakan. Patah getas pada material amorf seperti gelas keramik, daerah yang dihasilkan akan menghasilkan permukaan yang halus dan berkilau.

Pada berbagai kristal getas, perambatan retakan disebabkan karena pengulangan pemutusan ikatan sepanjang struktur kristalografi dalam berbagai bidang, beberapa proses dinamakan *cleavage* (pembelahan). Patahan dengan jenis seperti ini dinamakan dengan patahan transgranular atau transkristalin karena patahan melewati butiran- butiran. Secara makroskopik, permukaan patahan akan terlihat berbutir dan bersegi sebagai akibat dari perubahan orientasi dari bidang-bidang pembelahan dari butir menuju butir. Ini akan terlihat jika diamati secara mikroskopik dengan menggunakan Semi Electron Microscope (SEM).

Dalam beberapa paduan, perambatan retakan terjadi di sepanjang batas butir. Retakan ini dinamakan dengan intergranular. Jenis patahan ini, akan memperlihatkan butiran secara keseluruhan dan bersifat 3 dimensi. Hal ini terjadi setelah

terjadinya proses yang memperlemah ikatan pada batas butir. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.15.[9]



gambar 2.15 Patah getas [9]

2.6.3 Penggetasan (*Embrittlement*)

Penggetasan adalah berkurangnya keuletan material Karena pengaruh pembebanan, unsur paduan, lingkungan, dan perlakuan panas.

Penggetasan terjadi karena:

1. Temperatur rendah, pada temperatur rendah kekuatan material akan turun
2. Laju regangan tinggi, laju regangan yang tinggi akan mengakibatkan naiknya kerapatan dislokasi dengan cepat sehingga kekuatan material akan naik.
3. Adanya fasa cair (*liquid metal embrittlement*), penggetasan karena adanya fasa cair (*liquid metal embrittlement* LME)

mengakibatkan getas pada material yang ulet karena adanya lapisan tipis fasa cair dan tegangan tarik. Syarat terjadinya *liquid metal embrittlement* adalah:

- Fasa cair tidak dapat larut dalam base metal
- Tidak termasuk senyawa intermetalik
- Awal retakan akan terjadi jika fasa cair kontak langsung dengan logam induk
- Agar perambatan retak dapat berlangsung, maka harus ada tegangan tarik
- Patah getas dapat terjadi jika fasa cair berada pada permukaan retakan

Ciri-ciri permukaan patahannya:

- Adanya lapisan tipis unsur penggetas yang sulit dihilangkan
- Patah terjadi melalui batas butir
- Tidak ada pencabangan retakan (*crack branching*)
- Laju perambatan yang sangat cepat, sekitar 10 s/d 100 cm/detik

2.6.4 Inklusi (*Solid Metal Induced Embrittlement*)

Penggetasan karena inklusi (*solid metal induced embrittlement, SMIE*) yaitu penggetasan yang terjadi pada temperature di bawah temperature cair unsur penggetas

Syarat SMIE adalah:

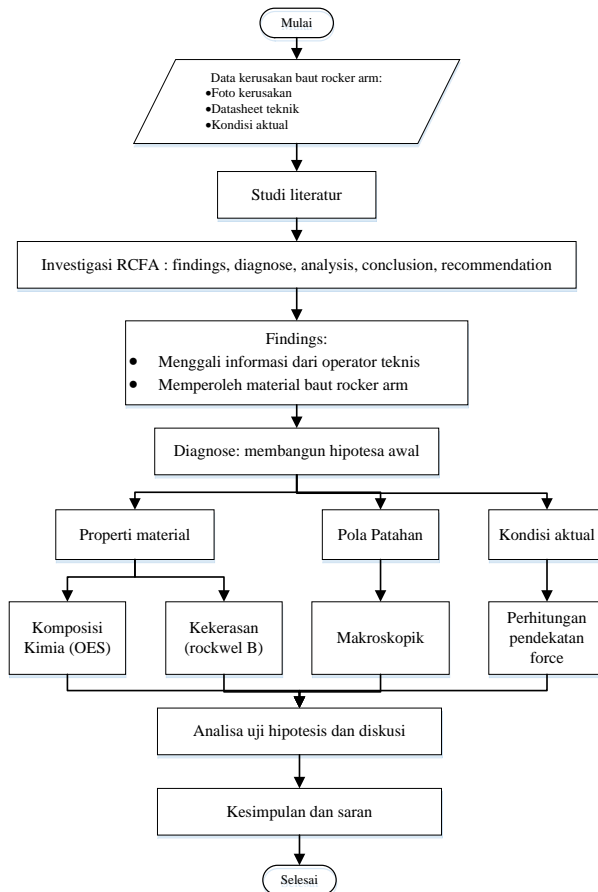
1. Kontak langsung antara unsur penggetas dengan logam induk
2. Adanya tegangan listrik
3. Awal retakan pada antarmuka unsur penggetas dan logam induk
4. Adanya unsur penggetas pada ujung retakan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dapat dijelaskan lebih lanjut secara mendalam sebagai berikut

3.2.1 Studi Lapangan Dan Identifikasi Permasalahan

Langkah awal yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah melakukan studi lapangan ke PT. Semen Indonesia pabrik Tuban. Studi yang dilakukan ke pabrik tuban adalah untuk mengetahui kondisi perusahaan dan menganalisa permasalahan yang terjadi pada komponen produksi semen kemudian merumuskannya ke dalam sebuah penelitian secara lengkap dan menyeluruh. Setelah dilakukan pengamatan lapangan, didapat sebuah permasalahan yaitu kegagalan baut pengatur dan pengikat poros *rocker arm* pada *mill stand* OK Mill FLSmidth 42-04.

- **Hipotesa Penulis**

Berdasarkan tinjauan pustaka dan analisa awal/sementara penulis, maka penulis berhipotesa bahwa potensial penyebab kerusakan yang terjadi pada baut *Rocker arm* adalah *fatigue* yang disebabkan oleh gaya tekan dan getaran yang terjadi. Baut *rocker arm* berfungsi sebagai satu-satunya komponen yang menahan semua beban searah sumbu X yang terjadi pada roker arm. Proses penggilingan material yang tidak selalu memiliki permukaan yang rata menyebabkan bebab yang diterima naik turun. Dibutuhkan analisa dan perhitungan untuk mengetahui apakah mungkin terjadinya kerusakan Karena *fatigue*.

3.2.2 Perumusan Masalah Dan Tujuan

Langkah selanjutnya adalah merumuskan masalah. Objek yang akan diteliti adalah baut pengatur dan pengikat poros *rocker arm* pada mill stand OK mill FLSmidth 42-4. Perumusan masalah ini disertai dengan penetapan batasan masalah untuk memperjelas

ruang lingkup penelitian serta penetapan tujuan dari penelitian tersebut.

3.2.3 Studi Literatur

Studi literature yang dilakukan adalah proses pengulasan terhadap gambar detail dan fungsi tiap-tiap komponen pada OK Mill FLSmidth 42-4. Pengulasan juga dilakukan terhadap buku dan jurnal yang memberikan informasi tentang factor-faktor yang terkait dengan kerusakan yang sejenis, seperti kerusakan karena *fatigue*, gaya-gaya pada baut dan pola patahan berdasarkan ilmu metalurgi.

3.2.4 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data di lapangan. Data yang dikumpulkan berupa data dari baut pengatur dan pengikat poros *rocker arm* pada mill stand OK Mill FLSmidth 42-4. Data yang didapatkan berupa kerusakan, gambar detail dari komponen grinding roller pada OK Mill FLSmidth 42-4,

3.2.5 Analisa Gaya pada Komponen

Analisa gaya pada komponen yang mengalami kerusakan dilakukan dengan mencari gaya-gaya yang diterima oleh komponen berdasarkan bentuk dan pemasangan komponen. Hasil dari analisa gaya digunakan untuk menentukan penyebab kerusakan komponen.

3.2.6 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilaksanakan dengan dua jenis pengamatan makroskopik menggunakan bantuan kamera digital. Pada tahap ini hanya dilakukan analisa sederhana berdasarkan analisa patahan yang terlihat.

3.2.7 Pengujian Komposisi Kimia

Identifikasi komposisi kimia dilakukan guna mengetahui komposisi kimia pada komponen baut. Pengujian komposisi

kimia dilakukan dengan metode *optical emission spectroscopy* (OES) untuk mengetahui unsur-unsur secara kuantitatif pada komponen baut.

3.2.8 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* skala B dan mesin uji *merk* frank yang dapat dilihat pada gambar 3.2. pengujian ini dilakukan dengan melakukan indentasi sebanyak 5 titik. Kekerasan spesimen akan terbaca pada alat uji yang menunjukkan nilai kekerasan dalam HRC (*Hardness Rockwell B*).

3.2.9 Pembahasan Dan Analisis Data

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap semua data yang telah didapatkan dari percobaan di atas. Hasil tersebut akan menunjukkan dan menjelaskan mekanisme kegagalan yang terjadi.

3.2.10 Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan data-data dan hasil dari pembahasan serta analisis data diperoleh kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk menanggulangi atau menghindari kasus kegagalan yang serupa.

3.3 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggaris dan jangka sorong(*Vernier calliper*)
2. Kamera
3. Alat pemotong (gerinda, gergaji mesin, dan *cutting wheel*)
4. Peralatan *grinding*, *polishing*, dan *etching*
5. Mesin *Optical Emission Spectroscopy* (OES)
6. Mesin *hardness* test (merk *Frank*)



Gambar 3.2 *Optical Emission Spectroemtry Oxford Instruments*



Gambar 3.3 *Alat uji kekerasan Rockwell B (merk Frank)*

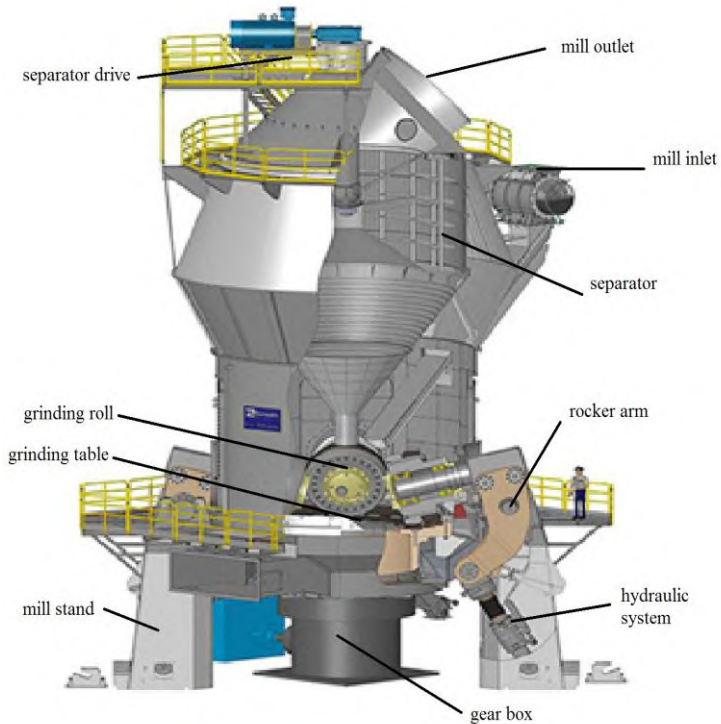
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Informasi OK Mill FLSmidth 42-4, Baut, dan Data Awal

OK MILL FLSmidth memiliki dua fungsi utama, yaitu menggiling material dan menyaring material yang keluar dari OK MILL. Material ketika masuk pertama ke ruang penggilingan jatuh tepat di bagian tengah dari meja yang berputar. Meja yang berputar memberikan gaya sentripetal kepada material yang menyebabkan material bergerak ke arah luar lingkaran meja. Ketika material berada di sisi meja. *Roller* akan menggiling material. Material yang telah tergiling akan terus bergerak ke sisi luar meja dan terbawa uap panas yang dihembuskan dari bawah meja menuju ke atas. Material yang terbawa ke atas oleh uap panas akan bergerak masuk ke dalam separator. Separator berfungsi memilah antara material yang telah tergiling dengan halus dan material yang belum tergiling sempurna. Material halus akan terbawa masuk separator dan keluar melalui *mill outlet*. Material yang belum tergiling sempurna akan bertumbukan dengan *guide vane* dan akan jatuh kembali ke atas meja.



Gambar 4.1 OK MILL FLsidth 42-4

4.1.1 Nama dan Spesifikasi

Penggilingan akhir semen pada finish mill 9 pabrik tuban 1 menggunakan OK MILL FLsidth. Mesin ini berfungsi sebagai mesin yang menggiling klinker, *gypsum* dan beberapa material tambahan. Berikut beberapa komponen penting pada mesin OK Mill FLsidth 42-4:

- a) *grinding table*, merupakan komponen dimana material berupa klinker, *gypsum*, dan bahan aditif lain berada ketika digiling, *grinding table* terdiri atas dua belas segmen.
- b) *grinding roll*, merupakan komponen yang bertugas menggiling klinker, *gypsum*, dan bahan aditif dengan bantuan tekanan yang diberikan oleh sistem hidrolis.

Table 4.1 *Data sheet OK Mill FLSmidth 42-4*

<i>Category</i>	<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Grinding Table</i>	<i>Table material</i>	<i>Ductile iron steel</i>
	<i>Table diameter</i>	5600 mm
	<i>Table speed</i>	22.2 rpm
	<i>Table segment material</i>	<i>White cast iron</i>
	<i>Hardness of table track</i>	750 \pm 40 HV
	<i>Number of table liners</i>	2 x 12
	<i>Weight of table liners</i>	19692 kg
<i>Grinding rollers</i>	<i>Number of rollers</i>	4
	<i>Roller diameter</i>	2480 mm
	<i>Roller width</i>	1010 mm
	<i>Inclination</i>	15°
	<i>Bearing housing</i>	<i>Cast steel (2530)</i>

	<i>material</i>	
	<i>Roller segment material</i>	White cast iron (3831)
	<i>Hardness of roller tire</i>	750 ± 40 HV
	<i>Thickness of roller liners</i>	220 mm
	<i>Weight per roller</i>	4808 kg
	<i>Roller bearing lubrication</i>	Circulating oil

Proses penggilingan di OK MILL FLSmidth memiliki dua komponen penting. Komponen pertama yaitu meja. Meja ini merupakan tempat material digiling. Meja juga berputar untuk memberi gaya sentripetal agar material bergerak menuju ke arah *roller*. Komponen kedua adalah *presseure lever*. *pressure lever* terdiri dari *roller*, *rocker arm* dan sistem hidrolis. *Roller* berfungsi sebagai alat yang kontak langsung dalam menggiling material. *Rocker arm* berfungsi sebagai tempat dudukan dari *roller*. Sedangkan sistem hidrolis berfungsi sebagai pemberi tekanan pada *roller* menuju ke arah meja sebagai gaya pembantu penggilingan.

4.1.2 Prosedur Pemasangan Baut *Rocker Arm*

Prosedur pemasangan baut *rocker arm* untuk pertama kali atau untuk saat setelah perbaikan adalah:

1. Baut dipasang pada dudukan baut di sisi kiri dan kanan *rocker arm*
2. Baut digunakan untuk memposisikan *rocker arm* berada tepat di tengah dengan cara mengencangkan baut di kanan

untuk menggeser *rocker arm* ke arah kiri dan mengencangkan baut di sisi kiri untuk menggeser *rocker arm* ke arah kanan.

3. Setelah *rocker arm* berada tepat di tengah, kedua baut di sisi kiri dan kanan di kencangkan.
4. Setelah baut dikencangkan, mur dikencangkan untuk mengunci posisi baut tidak berubah-ubah.

Prosedur pemasangan baut *rocker arm* yang dilakukan pada OK MILL FLSmidth ini berbeda dengan prosedur pemasangan dari FLSmidth. Seperti tampak pada gambar 4.2 di bawah yang menunjukkan bahwa baut hanya dikencangkan untuk mengatur posisi agar *rocker arm* berada tepat ditengah. Kemudian dilonggarkan kembali. Tetapi terdapat permasalahan ketika baut tidak dikencangkan yaitu *rocker arm* akan bergerak ke kanan dan ke kiri sehingga menimbulkan tumbukan dan getaran.

- ⑬ Use the screw for placing the pressure lever in center. Loosen the screw again after positioning. Then fasten the screw until the screw have contact to the pressure plate mounted in the fulcrum shaft and lock the screw in this position by fastening the nut.

Gambar 4.2 Prosedur asli pemasangan baut *rocker arm* FLSmidth

4.1.3 Unsur-unsur Penyusun Material Baut *Rocker Arm*

Pengujian komposisi kimia dilakukan terhadap material baut *rocker arm* yang gagal. Hasil pengujian dicocokkan dan dibandingkan dengan komposisi kimia standar. Hasil perbandingan dapat dilihat pada table 4.2

Table 4.2 Perbandingan hasil uji komposisi kimia dengan komposisi kimia standar material ISO 5.6

Komposisi kimia % by weight	Material patah	Standar ISO 898	
		Min	max
C	0,455	0,13	0,55

P	0,0087	-	0,05
S	0,0134	-	0,06
Si	0,284	-	-
Mn	0,672	-	-
Cr	0,680	-	-
Mo	0,207	-	-
Ni	0,654	-	-
Al	0,0219	-	-
Co	< 0,0050	-	-
Cu	0,151	-	-
Nb	0,0123	-	-
Ti	0,0063	-	-
V	0,0091	-	-
W	0,0232	-	-
Pb	0,0140	-	-

Hasil pengujian komposisi kimia dicocokkan dengan komposisi kimia standar, dari hasil dapat dilihat bahwa material ini memiliki standar sesuai dengan ISO 898. Persen unsur karbon berada dalam batas jarak yang diizinkan dan mendekati batas maksimal sebesar 0,455%. Kandungan karbon sebanyak kurang dari 0,5% masih termasuk ke dalam kategori baja karbon menengah (*medium carbon steel*). Sedangkan material posfor memiliki kadar yang sangat rendah. Dari batas maksimal 0,05%, material ini hanya memiliki 0,0087. Fosfor berperan dalam meningkatkan kekuatan, meningkatkan *hardenability*, dan ketahanan terhadap korosi. Fosfor juga bertanggungjawab terhadap penurunan keuletan dan ketangguhan. Kandungan mangan pada material ini sebesar 0,672. Mangan berperan dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan baja, dan meningkatkan ketahan terhadap abrasi. Hal ini dapat terjadi karena mangan mampu mengikat belerang, sehingga memperkecil terbentuknya sulfida besi yang menyebabkan abrasi. sulfur yang dikombinasikan dengan mangan juga dapat meningkatkan *machinability*.

Table 4.3 *Mechanical properties of bolts, screws, and studs ISO*

<i>Property class</i>	<i>Yield strength (N/mm²)</i>	<i>Nominal tensile strength (N/mm²)</i>	<i>Rockwell Hardness (HRB)</i>		<i>Impact strength (J min)</i>
			<i>Min</i>	<i>max</i>	
5.6	300	500	79	95	25

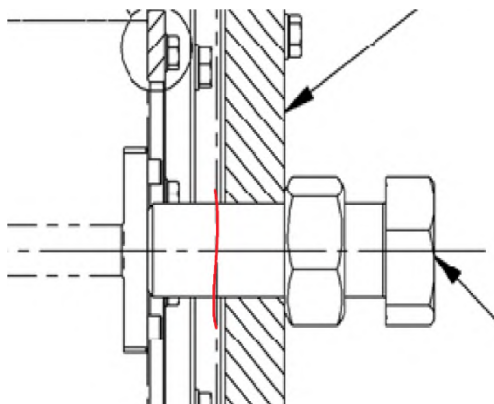
898

4.1.4 Data Awal Kerusakan

Pada tanggal awal februari 2016 OK Mill mengalami kerusakan berupa patahnya baut pengikat *rocker arm*. Baut ini mengalami patah pada bagian pangkal yang berada dalam penutup *bearing*. Kejadian patah awal tidak diketahui pasti karena posisi patah baut berada dalam ruangan tertutup. Patah kedua terjadi pada pertengahan april. Patah baut ini cukup mengganggu proses produksi semen karena tidak dapat terlihat dengan mata. Indikasi utama kerusakan yang dapat dilihat adalah meningkatnya getaran dan *rocker arm* yang bergerak-gerak ke searah sumbu x. seperti tampak pada gambar 4.1(a) didapat permukaan patah dari material baut. Baut ini terjadi pada lokasi seperti ditunjuk oleh gambar 4.1(b)



(a)



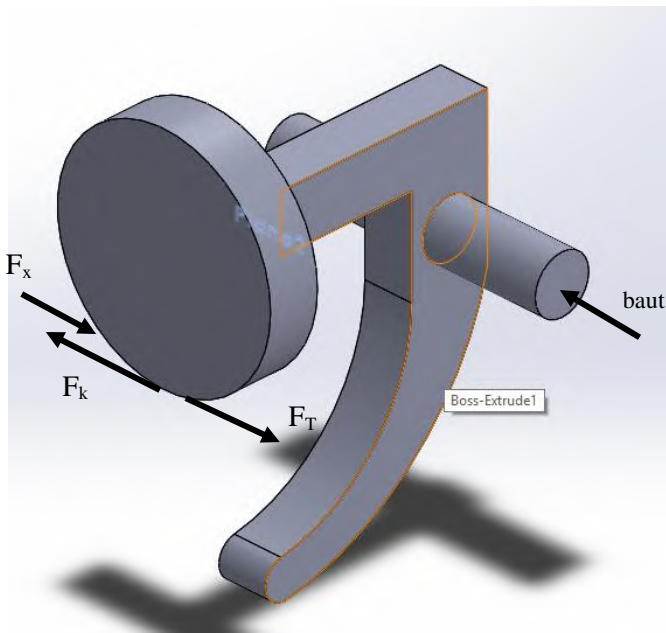
(b)

Gambar 4.3 (a) Baut yang patah, (b) lokasi patah baut

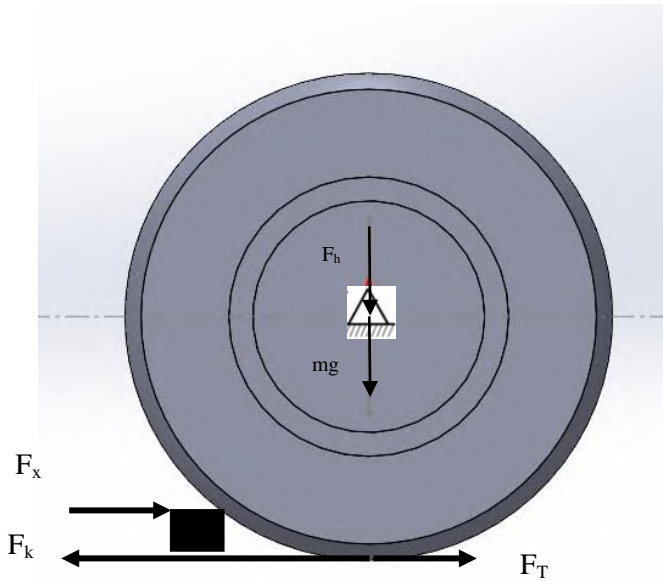
4.2 Analisa Kesesuaian Spesifikasi Baut Dengan Gaya yang Bekerja

4.2.1 Mencari Gaya Karena Putaran Motor

OK Mill FLSmidth 42-4 memiliki satu meja dan empat *roller*. Motor digunakan untuk memutar meja. Ketika proses penggilingan klinker, *trass*, dan *gypsum* terjadi, meja dan material semen akan kontak dengan *roller*. *Roller* akan menerima gaya yang diberi sesuai dengan motor.



Gambar 4.4 *Free Body Diagram rocker arm*



Gambar 4.5 Gaya yang diterima oleh *roller*

Sistem penggerak meja memakai motor sebagai penggerak utama. Meja terkena kontak dengan *roller* yang menyebabkan *roller* berputar. Dihitung gaya yang diterima oleh *roller* pada jari-jari terluar. Lokasi ini merupakan lokasi kontak antara meja dan *roller* sehingga didapat gaya yang diterima *roller* dari putaran meja. Dengan diketahui putaran dan daya motor, dapat dicari gaya yang diterima *roller* dari meja. Gaya karena torsi meja dapat dihitung dengan persamaan

$$F_T = \frac{T_{meja}}{R_{meja}}$$

Dimana

F_T = Gaya diterima *roller* karena torsi meja

T_{meja} = Torsi yang diterima meja dari motor

R_{meja} = Jari-jari dimana terjadinya kontak antar meja dan *roller*

- Menghitung ω_{meja}

Untuk menghitung ω_{meja} diketahui data awal

$$n_{meja} = 22,2 \text{ rpm}$$

$$\omega_{meja} = 2\pi n / 60$$

$$\omega_{meja} = \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \cdot \frac{22,2 \text{ rev}}{\text{menit}} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}}$$

$$\omega_{meja} = 2,32 \text{ rad/s}$$

- Menghitung torsi akibat motor

Untuk menghitung torsi, diketahui data awal

$$P_{motor} = 5500 \text{ kW}$$

$$P_{motor} = T \cdot \omega$$

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega} = \frac{5500000 \text{ Watt}}{2,32 \text{ rad/s}}$$

$$T = 2365816.722 \text{ Nm}$$

- Menghitung gaya pada R kontak meja dan *roller*

$$R = 2,24 \text{ m}$$

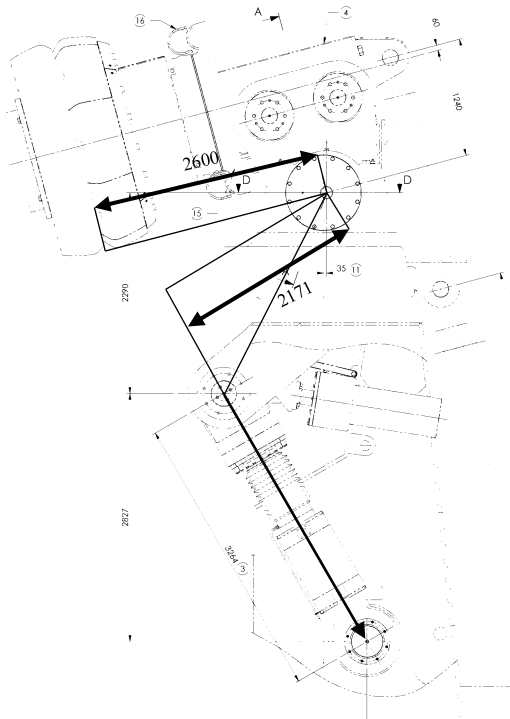
$$T = F \cdot R$$

$$F_T = \frac{T}{R} = \frac{2365816.722 \text{ Nm}}{2,24 \text{ m}}$$

$$F_T = 1056168.2 \text{ N} \cdot 0.1 = 105616 \text{ N}$$

4.2.2 Menghitung Gaya Gesek

Ketika *roller* berputar, terdapat gaya gesek yang terjadi pada *roller* dan *rocker arm*. Gaya gesek ini terjadi pada *bearing* yang terpasang pada poros *roller* dan pada *bearing* dari poros *rocker arm*. Gaya gesek pada *bearing roller* dapat dihitung dari gaya normal dari poros *roller*. *Roller* menerima gaya tekan ke bawah yang diberikan oleh sistem hidrolis. Dengan menghitung tekanan hidrolis dan dipindahkan sesuai jarak lengan maka didapat gaya tekan untuk gaya normal *roller*.



Gambar 4.6 Letak sistem hidrolis dan *roller*

Menghitung gaya gesek *roller* dapat dilakukan dengan persamaan

$$F_{k1} = F_{N \text{ roller}} \cdot \mu k$$

Dimana

F_{k1} = gaya gesek kinetis pada *roller*

$F_{N \text{ roller}}$ = gaya normal yang diterima poros *roller*

μk = koefisien gesek kinetis dari *bearing*

Menghitung gaya normal diawali dengan menghitung gaya akibat hidrolis

Dimana:

$$P_{\text{hidrolis}} = 140 \text{ bar} = 14 \times 10^6$$

$$D_{\text{hidrolis}} = 0,22 \text{ m}$$

$$F_{\text{hidrolis}} = P_{\text{hidrolis}} \cdot A_{\text{hidrolis}}$$

$$F_{\text{hidrolis}} = 140 \text{ bar} \cdot \frac{\pi}{4} D_h^2$$

$$F_{\text{hidrolis}} = 14 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \frac{\pi}{4} 0,22^2$$

$$F_{\text{hidrolis}} = 532185,8 \text{ N}$$

Gaya hidrolis dijadikan momen di titik poros *rocker arm*

$$M_{\text{hidrolis}} = F_{\text{hidrolis}} \cdot R_1 = 532185,8 \text{ N} \cdot 2,1715 \text{ m}$$

$$M = 1155641,5 \text{ Nm}$$

Momen diubah menjadi gaya tekan pada poros *roller*

$$F_{\text{hidrolis}}' = \frac{M_{\text{hidrolis}}}{R_2}$$

$$F_{\text{hidrolis}}' = \frac{1155641,5}{2,6}$$

$$F_{hidrolis}' = 444477,5 \text{ N}$$

Gaya normal pada poros *roller* bernilai sebesar gaya tekan yang diberi oleh gaya akibat hidrolis. Dapat dicari dengan rumus

$$F_{N \text{ roller}} = F$$

$$F_{N \text{ roller}} = 444477,5 \text{ N}$$

Menghitung gaya gesekan kinetis

$$F_{k1} = F_N \cdot \mu k$$

$$F_{k1} = 444477 \text{ N} \cdot 0.0018$$

$$F_{k1} = 800 \text{ N}$$

Selain gaya gesek pada beaing *roller*. *Bearing* dari *rocker arm* juga memiliki gaya gesek. Untuk *bearing* berupa plat kuningan yang bergesek dengan plat kuningan lain,

$$\mu k = 0,15$$

$$M_{\text{rocker arm}} = 10000 \text{ kg}$$

Menghitung gaya gesek di poros *rocker arm*

$$F_{k2} = F_{N \text{ rocker arm}} \cdot \mu k = W_{\text{poros}} \cdot \mu k$$

$$F_{k2} = (10000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \cdot 0.15 = 14700 \text{ N}$$

keseluruhan gaya gesek yang berada pada arah sumbu x didapatkan dengan menjumlahkan gaya gesek kinetik di *bearing roller* dan di *bearing rocker arm*.

$$F_{k \text{ rocker arm}} = F_{k1} + F_{k2}$$

$$F_{k \text{ rocker arm}} = 800 + 14700 = 15500 \text{ N}$$

4.2.3 Menghitung Gaya Akibat Gaya Tekan Partikel Semen

Material klinker yang digiling memberi tekanan pada saat *roller* melintas diatasnya. Diperlukan beban tekan yang cukup untuk menghancurkan material clinker. Material pokok klinker terdiri dari batu kapur yang diberi campuran lain. Kekuatan kompresi batu kapur adalah 60N/mm^2 hingga 170N/mm^2 , karena material klinker telah berbentuk butiran kecil dan lebih mudah berubah bentuk, maka diambil 10N/mm^2

Sudut kontak material = 20,69 derajat

Lebar *roller* = 1,01 m

R *roller* = 1.24 m

Mencari luasan dari *roller* yang bersentuhan dengan material.

$$A_{kontak} = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{\theta}{60} \cdot l$$

$$A_{kontak} = (\pi \cdot 1,24^2 \cdot \left(\frac{20,69}{360}\right)) (1,01)$$

$$A_{kontak} = 0,28\text{ m}^2$$

Mencari gaya yang diberikan oleh material klinker ketika terjadi penggilingan

$$F_{material} = P \cdot A$$

$$F_{material} = 10\text{MPa} \cdot 0,28\text{ m}^2$$

$$F_{material} = 1401982\text{ N}$$

Dicari gaya dari material yang mengarah ke sumbu x, karena gaya tidak merata, didapat pusat gaya berada pada $2/3$ sudut terbesar kontak. Gaya tekanan material ke arah sumbu x dapat dicari dengan persamaan.

$$Fx_{material} = F_{material} \cdot \sin\left(\frac{2}{3} \cdot \theta\right)$$

$$Fx_{material} = 1401982 \text{ N} \cdot \sin\left(\frac{2}{3} \cdot 20,69\right)$$

$$Fx_{material} = 334261 \text{ N} \cdot 0,1 = 33426 \text{ N}$$

4.2.4 Menghitung Gaya Akibat Torsi Awal Pemasangan

Proses pemasangan baut dilakukan dengan memberi torsi awal pada saat pemasangan. Diketahui torsi awal = 6850 Nm. Berdasarkan persamaan 2.1 maka dapat dihitung

$$Fi = \frac{T}{C \cdot d}$$

$$Fi = \frac{6850 \text{ Nm}}{0,2 \cdot 0,09 \text{ m}}$$

$$Fi = 380555 \text{ N}$$

4.2.5 Menghitung Gaya Gesek Baut yang Dihasilkan oleh Torsi Poros *Rocker Arm*

Roller yang naik turun pada saat penggilingan berputar pada poros *rocker arm*. Dari sini dapat dicari gaya geser yang harus ditahan oleh baut ketika terjadi gesekan akibat putaran, untuk μk dipakai 0.25 karena pelumasan menggunakan *grease*.

$$F_{N \text{ baut}} = F_T - F_{k \text{ rocker arm}} + Fx_{material} + Fi$$

$$F_{N \text{ baut}} = 528084 - 15500 + 33426 + 380555$$

$$F_{N \text{ baut}} = 504098 \text{ N}$$

$$F_{k \text{ baut}} = F_{N \text{ baut}} \cdot \mu k = 504098 \cdot 0.25$$

$$F_{k \text{ baut}} = 126024 \text{ N}$$

Menghitung beban

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_{baut}} = \frac{105616 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} 0,09^2} = 16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = \frac{F_k \text{ rocker arm}}{A_{baut}} = \frac{15500}{\frac{\pi}{4} 0,09^2} = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \frac{F_{x_{material}}}{A_{baut}} = \frac{334261}{\frac{\pi}{4} 0,09^2} = 5,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_{baut}} = \frac{380555}{\frac{\pi}{4} 0,09^2} = 59 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{F}{A_{baut}} = \frac{201233}{\frac{\pi}{4} 0,09^2} = 19 \text{ MPa}$$

Pada beban *fatigue*, terdapat tegangan maksimum dan tegangan minimum, sehingga

$$\sigma_{max} = \sigma_T - \sigma_k + \sigma_x + \sigma_i$$

$$\sigma_{max} = 16,6 \text{ MPa} - 2,4 \text{ MPa} + 5,2 \text{ MPa} + 59,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_T - \sigma_k + \sigma_i$$

$$\sigma_{min} = 16,6 \text{ MPa} - 2,4 \text{ MPa} + 59,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = 73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{79 + 73}{2} = 76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{79 - 73}{2} = 2,6 \text{ MPa}$$

4.2.6 Perhitungan Keamanan Baut Sesuai *Fluctuating and Shock Load Theory*.

Pada baut ini terdapat beban tekan dan tegangan geser. Sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3

$$\frac{S_{yp}}{N} \geq \sqrt{K_{sb} \left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r \right)^2 + 3K_{st} \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r \right)^2}$$

Dengan

$$\begin{aligned} S_{yp} &= 300 \text{ Mpa} \\ N &= 3 \text{ (safety factor)} \\ K_{sb} &= 1,5 \text{ adalah shock factor for minor shock} \\ S_e &= 192 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\frac{300}{3} \geq \sqrt{1,5 \left(76 \text{ MPa} + \frac{300 \text{ MPa}}{192 \text{ MPa}} 2,6 \text{ MPa} \right)^2 + 3 \cdot 1,5 \left(19 \text{ MPa} + \frac{300 \text{ MPa}}{192 \text{ MPa}} 19 \text{ MPa} \right)^2}$$

$$100 \text{ MPa} \geq 146 \text{ MPa (gagal)}$$

Berdasarkan perhitungan dari persamaan *fluctuating and shock load theory*, diketahui bahwa baut yang dipasang dengan pemberian torsi inisial gagal dalam menahan beban. Kemudian dihitung beban ketika tidak diberi torsi inisial, dihitung juga jika diberi *thrust bearing* untuk menghilangkan tegangan geser. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel 4.4.

Table 4.4 Opsi penyelesaian

No	Opsi penyelesaian	$\frac{S_{yp}}{N} \geq$	Aman/gagal berdasarkan <i>shock and load theory</i>
1	Memasang baut tanpa torsi inisial	94 MPa	aman
2	Memasang baut dengan torsi inisial	146 MPa	gagal
3	Memasang baut dengan torsi inisial tapi mengabaikan tegangan geser(pemasangan <i>thrust bearing</i>)	98 MPa	aman

4.3 Menghitung Umur

untuk menghitung umur, digunakan persamaan senagai berikut:

$$S_n = aN^b$$

Diketahui:

$$S_{uts} = 500 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 0,5 \times S_{uts} = 25000 \text{ MPa}$$

$$K_{load} = 1.5 \text{ (minor shock)}$$

$$A_{95} = 0,05 \text{ db} = 0,05 \cdot 90mm \cdot 90mm = 405mm^2$$

$$D_{equivalent} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}} = 72,11 \text{ mm}$$

Untuk $8 \text{ mm} < d < 250 \text{ mm}$;

$$K_{size} = 1,189 D_{equivalent}^{-0,097}$$

$$K_{size} = 0,785$$

$$K_{surface} = A \cdot S_{uts}^b = 4,51 \cdot 500^{-0,265} = 0,87$$

$$K_{temperatur} = 1$$

$$K_{reliability} = 0,753 \text{ (untuk reliability =99,9)}$$

$$S_e = K_{load} \cdot K_{size} \cdot K_{surface} \cdot K_{temp} \cdot K_{reliability} \cdot S'_e$$

$$S_e = 1,5 \cdot 0,785 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,753 \cdot 250 \text{ MPa}$$

$$S_e = 192 \text{ MPa}$$

$$S_m = 0,75 S_{uts}$$

$$b = \frac{1}{z} \log \left(\frac{S_m}{S_e} \right) = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{450}{192} \right) = -0,123$$

$$\log a = \log S_m - 3b$$

$$\log a = \log 450 - 3 \cdot (-0,123)$$

$$a = 1052$$

$$S_n = aN^b$$

$$95 \text{ MPa} = 1052 \cdot N^{-0,123}$$

$$N = 3 \cdot 10^8 \text{ cycle}$$

Dari perhitungan menunjukkan bahwa umur baut sangat memuaskan

4.4 Pengamatan Visual

Pengamatan terhadap permukaan dilakukan dengan melihat permukaan patahan. Seperti yang tampak pada gambar 4.4, permukaan patah memiliki 2 karakteristik yang berbeda. Permukaan A memiliki permukaan yang cembung. Sedangkan permukaan yang lain memiliki ketinggian yang lebih rendah dari permukaan cembung. Permukaan yang lebih rendah ini memiliki beberapa cekungan kecil. Secara umum permukaan dari patahan memiliki kehalusan yang tinggi.



Gambar 4.7 penampang patah baut

Kehalusan permukaan menunjukkan material ini sering terkena gesekan. Gesekan yang disertai dengan tekanan antara dua material dapat menyebabkan permukaan semakin lama semakin halus. Jika dilihat dari posisi pemasangan, baut ini terkena beban tekan dan juga beban puntir. Baut terkena beban

tekan sejak awal pemasangan dan kemudian terkena beban tekan ketika proses penggilingan klinker. Pada saat proses penggilingan klinker juga mengakibatkan *roller* naik turun yang berdampak pada berputarnya poros *rocker arm*. Berputarnya poros *rocker arm* memberi gaya putar pada baut.

Sisi patahan cembung memiliki permukaan yang sedikit berbeda. Terdapat material yang membentuk lapisan tipis yang tersambung dengan material permukaan. Seperti yang terlihat pada gambar 4.5, lapisan tipis ini umumnya terletak pada batas permukaan yang cembung. Kemungkinan hal ini terjadi karena beban tekan yang sangat kuat disertai beban putar yang sanggup mengubah bentuk material ini. material yang terdesak akan bergerak menuju permukaan yang lebih rendah dan beban putar akan menolak material ini hingga menyebar lebih jauh. Permukaan material ini akan menjadi semacam lapisan tipis yang bergerak di atas permukaan patah. Pada permukaan ulir baut juga terjadi retak. Retak ini terletak di dekat permukaan yang cembung. Retak ini juga kemungkinan terjadi karena beban tekan yang diterima membuat permukaan cembung terdesak dan kemudian pecah.



(a)



(b)

Gambar 4.8 (a) Permukaan patah yang terdeformasi karena beban tekan sehingga membentuk semacam lapisan tipis, (b) permukaan baut yang pecah

4.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada material baut. Pengujian kekerasan yang digunakan yaitu pengujian kekerasan *Rockwell B*. pengujian dilakukan pada spesimen dengan pengujian sebanyak 5 lokasi indentasi. Lokasi pertama adalah di lokasi lokasi paling dalam yaitu pada lokasi 1. Kemudian letak titik semakin menuju ke arah diameter luar baut menuju lokasi 2,3,4,dan 5 dari baut.



Gambar 4.9 Material pengujian kekerasan Rockwell C

Table 4.5 Hasil pengujian *Rockwell B*

Nilai HRB				
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5
76	77	77	79	78

Dari hasil pengujian didapatkan rata-rata kekerasan dari material baut pada lokasi terdalam adalah 76 HRB. Kemudian semakin keluar semakin keras. Walaupun tidak terlalu besar, nilai kekerasan material berbeda-beda di tiap lapisannya. Secara rata-rata, material ini memiliki kekerasan 77,4 HRB. Sedikit terletak di bawah standar ISO 5.6 yaitu 79-95 HRB. Material ini memiliki kekerasan yang lebih rendah walaupun setelah mengalami beban tekan selama ini.

4.6 Diskusi Tentang Penyebab Kerusakan

Berdasarkan cara pemasangan baut. Baut dikencangkan untuk mengikat poros yang berada di tengah. Dengan kondisi pelumasan dalam bentuk *grease*, hal ini menyebabkan baut akan terkenan beban puntir yang sangat kuat ketika poros berputar. Sedangkan jika dilakukan pemasangan sesuai instruksi pemasangan dari FLSmidth seperti tampak pada gambar 4.2 tentang *manual instruction* pada pemasangan baut. jika baut tidak dikencangkan, maka poros akan bergerak ke kanan dan ke kiri dan memberi tumbukan. Kondisi ini akan menambah getaran pada pressure lever dan mengganggu proses produksi.

Berdasarkan perhitungan dari beban baut dengan *fluctuating and shock load theory*. Pemasangan baut dengan memberi torsi inisial memberi beban sebesar 240 MPa. Beban ini masih dibawah yield point material ISO 5.6. tetapi berdasarkan perhitungan *fluctuating and shock load theory* baut ini mengalami kegagalan. Pembebanan yang terjadi ketika baut dipasang tanpa torsi inisial memiliki nilai sebesar 79 MPa dan aman berdasarkan perhitungan *fluctuating and shock load theory*. Tetapi karena diperlukan adanya torsi inisial pemasangan baut, maka diperlukan cara untuk mengubah desain menjadi aman. Salah satu cara adalah dengan memasang thrust *bearing* untuk mengabaikan tegangan geser. Perhitungan *fluctuating and shock load theory* menunjukkan bahwa setelah pemasangan thrust *bearing*, baut sudah dalam kondisi aman.

Baut *rocker arm* merupakan baut yang berfungsi menahan beban kearah sumbu x. sebagai baut yang terus-terusan terkena beban tekan dan beban putar, baut ini memiliki nilai kekerasan yang tergolong sangat rendah. Kekerasan dari material baut yaitu sebesar 77,4 HRB. Sedikit dibawah kekerasan standar material ISO 5.6 yaitu 79 HRB - 95 HRB. Kekerasan yang berada sedikit di bawah standar dapat mempengaruhi kinerja baut. Pembebanan secara berkelanjutan dan dengan diselingi beban yang fluktuatif dari penggilingan material semen baik beban tekan maupun

tegangan geser dapat menyebabkan baut ini mengalami keausan yang cepat.

Material ISO 5.6 tidak mengalami perlakuan panas. Hal ini menyebabkan tidak ada perbedaan kekerasan pada material ini. hal ini kurang cocok disebabkan material ini mengalami beban tekan secara terus menerus. Beban yang fluktuatif ini sangat rawan menyebabkan material berubah bentuk. Material yang baik untuk menahan beban tekan yang fluktuatif adalah material yang memiliki kekerasan cukup pada permukaan untuk mencegah perubahan bentuk material. Dan memiliki ketangguhan di bagian dalam untuk menahan beban yang diterima. Material seperti ini bias didapatkan dengan diberi perlakuan panas case hardening.

LAMPIRAN

Table 1 — System of coordinates

Nominal tensile strength $R_{m, \text{nom}}$ N/mm ²		300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 200	1 400
Minimum elongation after fracture, A_{min} percent	7										
	8										
	9				6.8					12.9	
	10								10.9		
	12			5.8				9.8 ^a			
	14						8.8				
	16		4.8								
	18										
	20										
	22			5.6							
	25		4.6								
	30	3.6									
Relationship between yield stress and tensile strength											
Second figure of symbol									.6	.8	.9
$\frac{\text{Lower yield stress } R_{eL}^b}{\text{Nominal tensile strength } R_{m, \text{nom}}} \times 100 \%$ or $\frac{\text{Stress at 0,2 % non-proportional elongation } R_{p0,2}^b}{\text{Nominal tensile strength } R_{m, \text{nom}}} \times 100 \%$									60	80	90
<p>NOTE Although a great number of property classes are specified in this part of ISO 898, this does not mean that all classes are appropriate for all items. Further guidance for application of the specific property classes is given in the relevant product standards. For non-standard items, it is advisable to follow as closely as possible the choice already made for similar standard items.</p> <p>^a Applies only to thread diameter $d \leq 16$ mm.</p> <p>^b Nominal values according to Table 3 apply.</p>											

Table 2 — Steels

Property class	Material and treatment	Chemical composition limits (check analysis) % (m/m)					Tempering temperature °C min.
		C		P	S	B ^a	
		min.	max.	max.	max.	max.	
3.6^b	Carbon steel	—	0,20	0,05	0,06	0,003	—
4.6^b		—	0,55	0,05	0,06	0,003	—
4.8^b							
5.6		0,13	0,55	0,05	0,06	0,003	—
5.8^b		—	0,55	0,05	0,06		
6.8^b							
8.8^c	Carbon steel with additives (e.g. B, Mn or Cr) quenched and tempered	0,15 ^d	0,40	0,035	0,035	0,003	425
	Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,035	0,035		
9.8	Carbon steel with additives (e.g. B, Mn or Cr) quenched and tempered	0,15 ^d	0,35	0,035	0,035	0,003	425
	Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,035	0,035		
10.9^{e f}	Carbon steel with additives (e.g. B, Mn or Cr) quenched and tempered	0,15 ^d	0,35	0,035	0,035	0,003	340
10.9^f	Carbon steel quenched and tempered	0,25	0,55	0,035	0,035	0,003	425
	Carbon steel with additives (e.g. B, Mn or Cr) quenched and tempered	0,20 ^d	0,55	0,035	0,035		
	Alloy steel quenched and tempered ^g	0,20	0,55	0,035	0,035		
12.9^{f h i}	Alloy steel quenched and tempered ^g	0,28	0,50	0,035	0,035	0,003	380

^a Boron content can reach 0,005 % provided that non-effective boron is controlled by addition of titanium and/or aluminium.

^b Free cutting steel is allowed for these property classes with the following maximum sulfur, phosphorus and lead contents: sulfur 0,34 %; phosphorus 0,11 %; lead 0,35 %.

^c For nominal diameters above 20 mm the steels specified for property classe 10.9 may be necessary in order to achieve sufficient hardenability.

^d In case of plain carbon boron steel with a carbon content below 0,25 % (ladle analysis), the minimum manganese content shall be 0,6 % for property class 8.8 and 0,7 % for 9.8, 10.9 and 10.9.

^e Products shall be additionally identified by underlining the symbol of the property class (see clause 9). All properties of 10.9 as specified in Table 3 shall be met by 10.9, however, its lower tempering temperature gives it different stress relaxation characteristics at elevated temperatures (see Annex A).

^f For the materials of these property classes, it is intended that there should be a sufficient hardenability to ensure a structure consisting of approximately 90 % martensite in the core of the threaded sections for the fasteners in the “as-hardened” condition before tempering.

^g This alloy steel shall contain at least one of the following elements in the minimum quantity given: chromium 0,30 %, nickel 0,30 %, molybdenum 0,20 %, vanadium 0,10 %. Where elements are specified in combinations of two, three or four and have alloy contents less than those given above, the limit value to be applied for class determination is 70 % of the sum of the individual limit values shown above for the two, three or four elements concerned.

^h A metallographically detectable white phosphorous enriched layer is not permitted for property class 12.9 on surfaces subjected to tensile stress.

ⁱ The chemical composition and tempering temperature are under investigation.

Table 3 — Mechanical and physical properties of bolts, screws and studs

Sub-clause number	Mechanical and physical property	Property class										
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 ^a		9.8 ^b	10.9	12.9
								$d \leq 16^c$ mm	$d > 16^c$ mm			
5.1	Nominal tensile strength, $R_{m, nom}$ N/mm ²	300	400		500		600	800	800	900	1 000	1 200
5.2	Minimum tensile strength, $R_{m, min}^{d, e}$ N/mm ²	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1 040	1 220
5.3	Vickers hardness, HV min.	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	$F \geq 98$ N max.	220 ^f					250	320	335	360	380	435
5.4	Brinell hardness, HB min.	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
	$F = 30 D^2$ max.	209 ^f					238	304	318	342	361	414
5.5	Rockwell hardness. HR min.	HRB	52	67	71	79	82	89	—	—	—	—
		HRC	—	—	—	—	—	22	23	28	32	39
		HRB max.	95,0 ^f					99,5	—	—	—	—
		HRC	—					—	32	34	37	39
5.6	Surface hardness, HV 0,3 max.	—						g				
5.7	Lower yield stress R_{eL}^h , N/mm ² nom.	180	240	320	300	400	480	—	—	—	—	—
	min.	190	240	340	300	420	480	—	—	—	—	—
5.8	Stress at 0,2 % non-proportional elongation $R_{p0,2}^i$, N/mm ² nom.	—					—	640	640	720	900	1 080
	min.	—					—	640	660	720	940	1 100
5.9	S_y/R_{eL} or $S_y/R_{p0,2}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
	Stress under proof load, S_p N/mm ²	180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
5.10	Breaking torque, M_B Nm min.	—						See ISO 898-7				
5.11	Percent elongation after fracture, A min	25	22	—	20	—	—	12	12	10	9	8
5.12	Reduction area after fracture, Z % min.	—						52		48	48	44
5.13	Strength under wedge loading ^e	The values for full size bolts and screws (no studs) shall not be smaller than the minimum values for tensile strength shown in 5.2										
5.14	Impact strength, KU J min.	—			25	—		30	30	25	20	15
5.15	Head soundness	No fracture										
5.16	Minimum height of non-decarburized thread zone, E	—						$\frac{1}{2} H$ ₁		$\frac{2}{3} H$ ₁	$\frac{3}{4} H$ ₁	
	Maximum depth of complete decarburization, G mm	—						0,015				
5.17	Hardness after retempering	—						Reduction of hardness 20 HV maximum				
5.18	Surface integrity	In accordance with ISO 6157-1 or ISO 6157-3 as appropriate										

^a For bolts of property class 8.8 in diameters $d \leq 16$ mm, there is an increased risk of nut stripping in the case of inadvertent over-tightening inducing a load in excess of proof load. Reference to ISO 898-2 is recommended.

^b Applies only to nominal thread diameters $d \leq 16$ mm.

^c For structural bolting the limit is 12 mm.

^d Minimum tensile properties apply to products of nominal length $l \geq 2,5 d$. Minimum hardness applies to products of length $l < 2,5 d$ and other products which cannot be tensile-tested (e.g. due to head configuration).

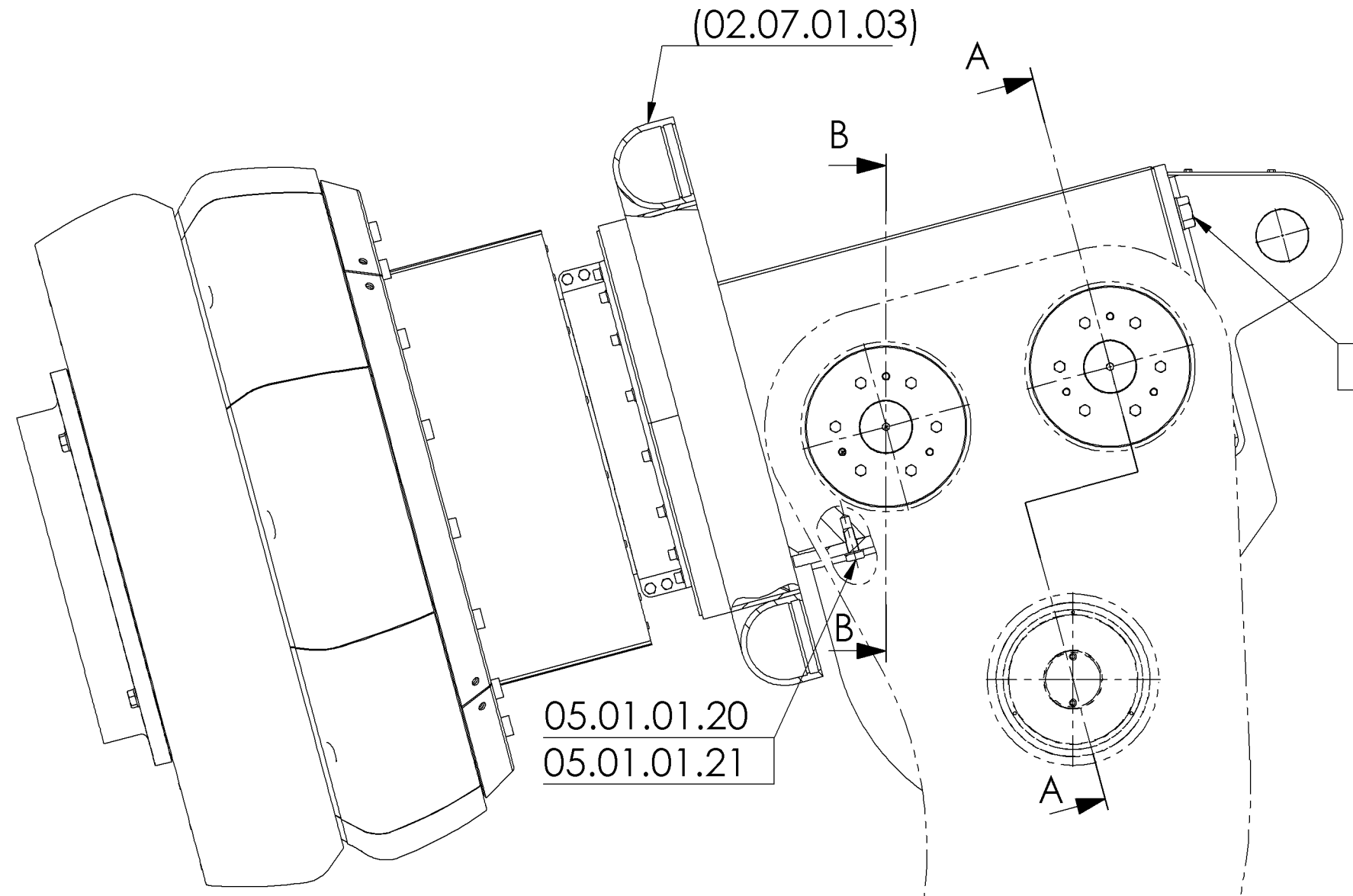
^e When testing full-size bolts, screws and studs, the tensile loads, which are to be applied for the calculation of R_m , shall meet the values given in Table 6 and Table 8.

^f A hardness reading taken at the end of bolts, screws and studs shall be 250 HV, 238 HB or 99,5 HRC maximum.

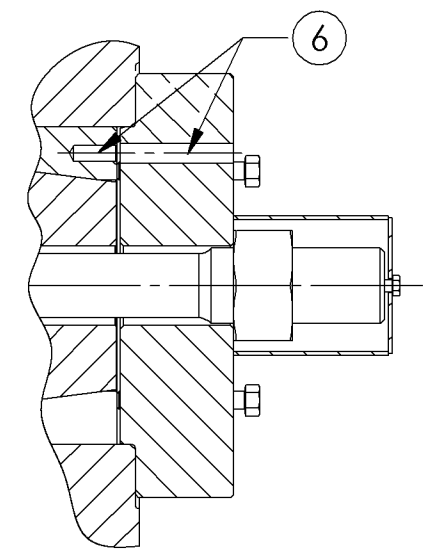
^g Surface hardness shall not be more than 30 Vickers points above the measured core hardness on the product when readings of both surface and core are carried out at HV 0,3. For property class 10.9, any increase in hardness at the surface which indicates that the surface hardness exceeds 390 HV is not acceptable.

^h In cases where the lower yield stress R_{eL} cannot be determined, it is permissible to measure the stress at 0,2 % non-proportional elongation $R_{p0,2}$. For the property classes 4.8, 5.8 and 6.8 the values for R_{eL} are given for calculation purposes only, they are not test values.

ⁱ The yield stress ratio according to the designation of the property class and the minimum stress at 0,2 % non-proportional elongation $R_{p0,2}$ apply to machined test specimens. These values if received from tests of full size bolts and screws will vary because of processing method and size effects.



B-B (1 : 10)



THREAD SIZE	ISO 4.6	ISO 5.6	ISO 8.8
	I	II	III
d	Nm	Nm	Nm
M10	14	20	45
M12	25	36	80
M16	53	75	170
M20	110	150	335
M24	180	250	560
M30	335	475	1060
M36	600	850	1900
M42	850	1180	2650
M48	1320	1800	4250
M56	2120	3000	6700
M64	2800	4000	9000
M72x6	3650	5450	12200
M80x6	4600	6850	15400

- ⑦ To be torque tightened to 1400 Nm

⑥ For removal of 05.01.01.09

⑤ Tension to 2542 kN
(Typical hydraulic tensioner HTA 200 at 127 MPa)

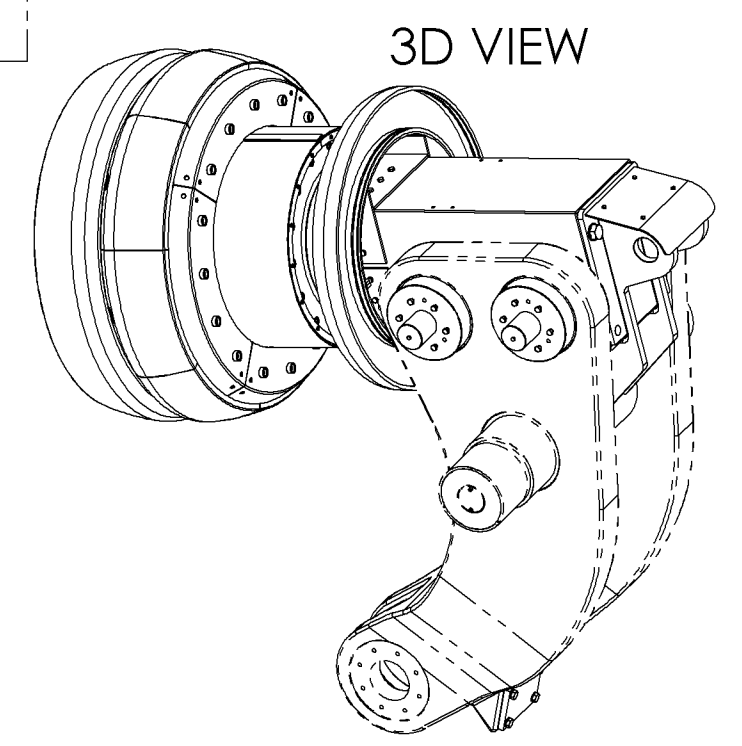
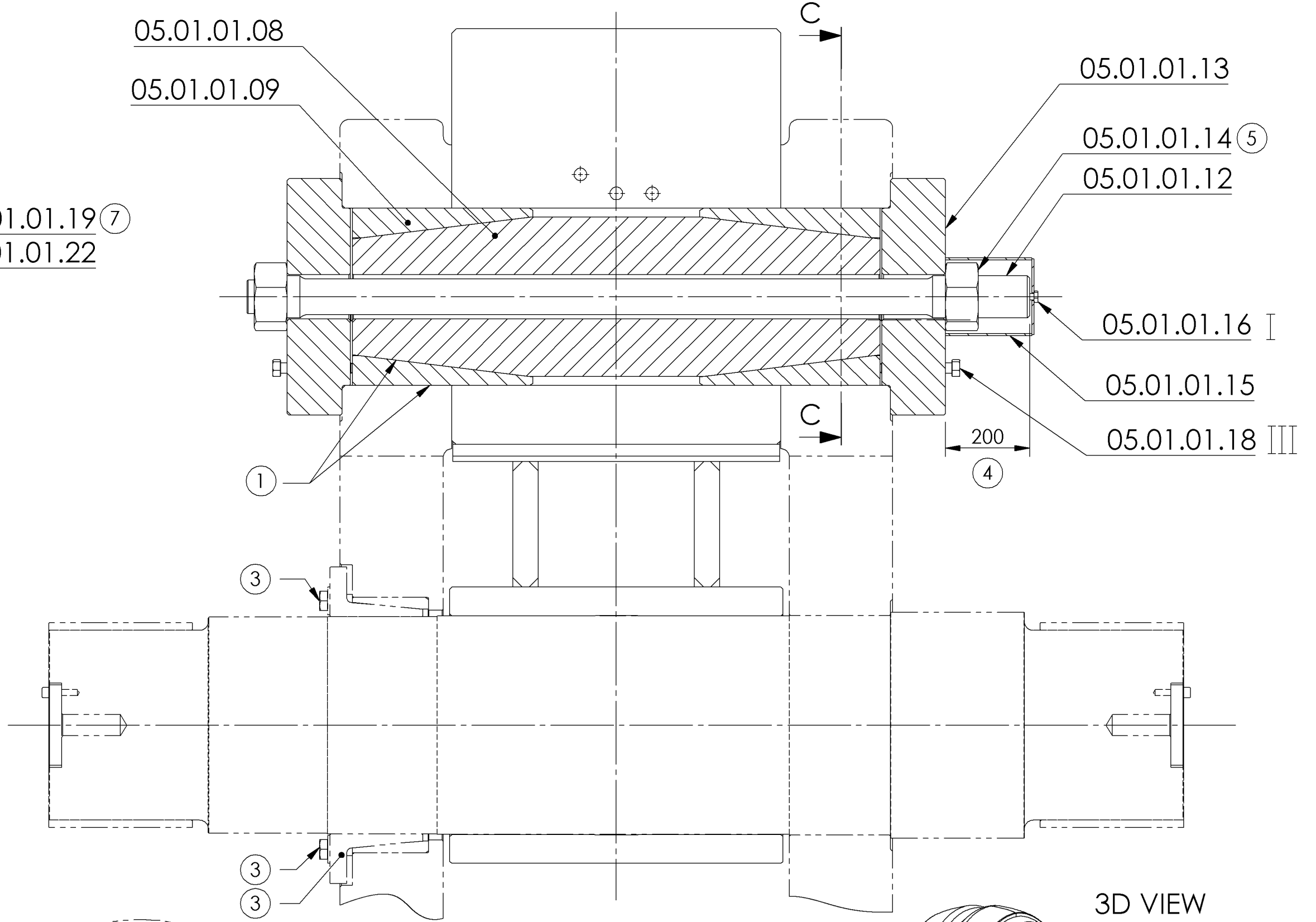
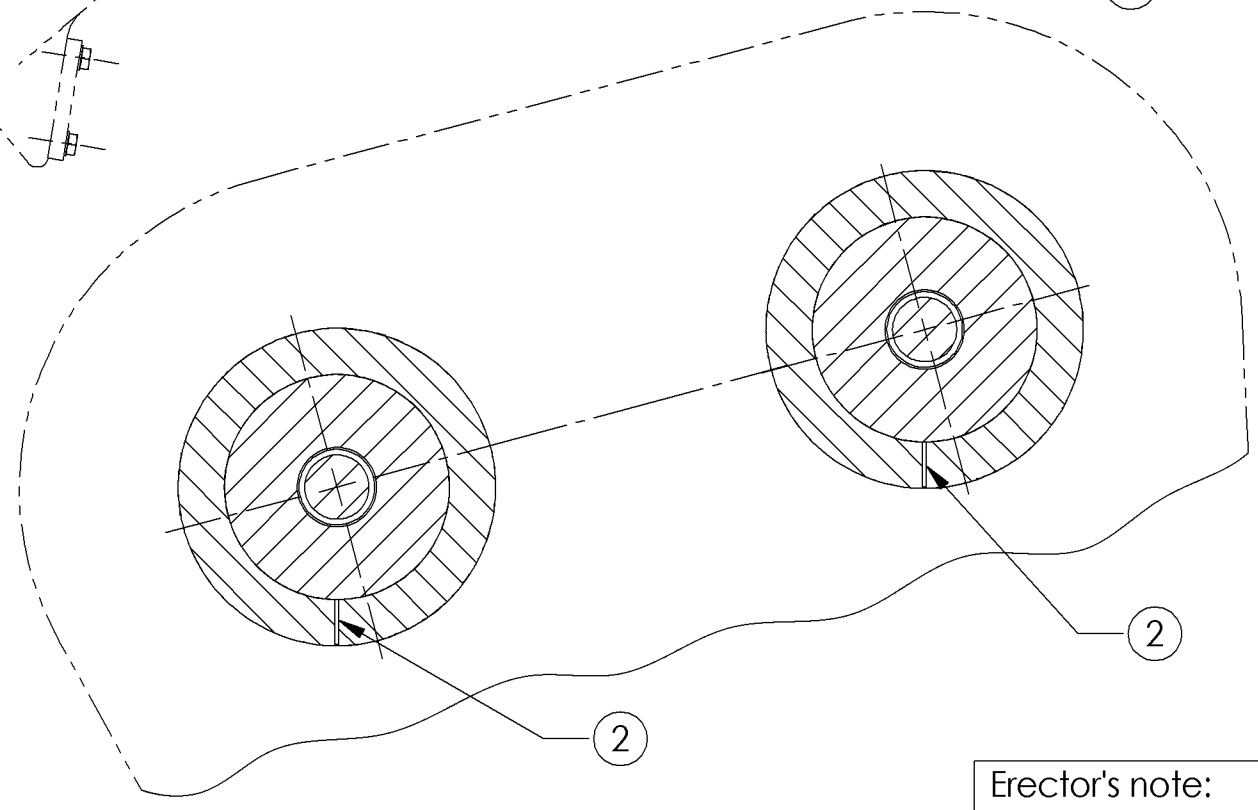
④ Maintaining dimension for required tensioning of stud
- ③ Before installation of king pins, loosen bolts, 05.02.01.14, and the tapered sleeve, 05.02.01.12, according to the instruction.

After installation of king pins, tighten bolts 05.02.01.14, to the given value at the pressure lever shop assembly drawing, pos 05.02.01.01, in order to clamp the tapered sleeve.

② Split to be located in the bottom.

① Apply molycote 05.01.01.23 on surfaces.

C-C (1 : 10)



3D VIEW

Erector's note:

Normal erection operations include the correction of minor misfits by moderate amounts of straightening, shimming, reaming, chipping, cutting or grinding and the drawing of elements into line through the use of drift pins. Misfits which cannot be corrected by the foregoing means or which require major changes in equipment configuration are to be reported immediately to the supplier by the erector, to enable the supplier either to correct the misfit or to approve the most efficient and economic method of correction to be implemented.

Scale:	Drawn	Appr.	Appr. Date	Zone/Descr.:	C7- Bolts removed.
1:20	PACKN	DFM	25 Apr 13	⊗ Pattern no.:	embossed/countersunk
OK 42-4 Pressure lever					
Pressure lever field assembly					
Mat.:	Weight:	Welds:	ISO-E	ISO-E	
Unless otherwise specified, adhere to General Workshop Instructions No. 520530.					
The information transmitted by this document is the proprietary and confidential property of FLSmidth, and may not be duplicated, disclosed, or utilized without written consent from FLSmidth.					
				No.:	13036628
				Ver.:	9.0

THREAD SIZE	ISO 4.6	ISO 5.6	ISO 8.8
	I	II	III
d	Nm	Nm	Nm
M10	14	20	45
M12	25	36	80
M16	53	75	170
M20	110	150	335
M24	180	250	560
M30	335	475	1060
M36	600	850	1900
M42	850	1180	2650
M48	1320	1800	4250
M56	2120	3000	6700
M64	2800	4000	9000
M72 x 6	3650	5450	12200
M80 x 6	4600	6850	15400

16 Swing the seal pos 02.07.01.03 together with the roller.

15 Place the bottom part of the seal ring pos 04.01.01.11 inside the mill on the bottom part of seal cover pos 02.03.01.09 before swinging the roller.

14 Grinding on pressure lever cast surfaces with a hand held angle grinder may be necessary during the first roller installation.

13 Use the screw for placing the pressure lever in center. Loosen the screw again after positioning. Then fasten the screw until the screw have contact to the pressure plate mounted in the fulcrum shaft and lock the screw in this position by fastening the nut.

12 Assemble the eccentric busing 05.01.02.21 and the axial lock cover pos 05.01.02.01 as shown, with grease port in line with the matching hole in the cover

11 Centerline of fulcrum shaft

10 Eccentric bushing center line

9 Bearing block

8 Fulcrum shaft

7 Bearing cap

6 Swing lever

5 See drawing 13039590

4 Roller shaft



3 At + 194 stroke

2 Portable cylinder

1 Dimension between center of pins
(4996 at swing out, 7695 at swing in)

Erector's note:

Normal erection operations include the correction of minor misfits by moderate amounts of straightening, shimming, reaming, chipping, cutting or grinding and the drawing of elements into line through the use of drift pins. Misfits which cannot be corrected by the foregoing means or which require major changes in equipment configuration are to be reported immediately to the supplier by the erector, to enable the supplier either to correct the misfit or to approve the most efficient and economic method of correction to be implemented.

Scale:	Drawn	Appr.	Appr. Date	Zone/Descr.:	A20-B20: Detail drawing added
1:20	MMAK	MOOL	07 Nov 13	⊗ Pattern no.:	embossed/countersunk
OK 42-4 Pressure lever					
Pressure lever assembly 1					
Mat.:	Weight:		Welds:	ISO-E	ISO-E 
Unless otherwise specified, adhere to General Workshop Instructions No. 520530.					
The information transmitted by this document is the proprietary and confidential property of FLSmidth, and may not be duplicated, disclosed, or utilized without written consent from FLSmidth.					
			No.:	13039586	Ver.: 3.0

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan yang telah dilakukan dapat didiskusikan penyebab kerusakan baut *rocker arm*, yaitu :

1. Baut *rocker arm* mengalami beban tekan dan puntir. Pembebanan ini terjadi secara fluktuatif. Pemasangan baut yang harus rapat dan berbeda dengan prosedur asli FLSmidth membuat baut ini mengalami beban puntir yang cukup besar. Kekerasan material yang berada di bawah standar dapat membuat material lebih cepat aus dan menciptakan ruang antara baut dan poros.
2. Untuk menanggulangi baut patah, direkomendasikan pemberian thrust *bearing* diantara baut dan poros.

5.2 Saran

Dari hasil pembahasan dan kesimpulan, saran yang dapat diberikan kepada pihak pabrik tuban 1 adalah:

1. Baut *rocker arm* dipasang dengan diberi torsi insial. Hal ini menyebabkan beban yang ditahan oleh material bertambah . hal ini mengakibatkan baut mengalami kegagalan. Untuk menanggulangnya perlu diberi thrust *bearing* diantar baut dan poros. Thrust *bearing* berfungsi menghilangkan tegangan geser yang diterima baut.
2. Perlu pemilihan material baut yang baik, dengan memperhatikan kekerasan baut. Kekerasan yang berada di bawah standar menyebabkan baut cepat aus dan menghasilkan ruang kosong diantara baut dan poros. Material baut juga sebaiknya dipilih yang memiliki kekerasan diluar dan ulet di dalam agar tidak mudah aus dan tangguh dalam menahan beban.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Despratama, Analisa Kegagalan Baut Dam Ring M30 pada OK Mill FLSmidth 42-4 Ditinjau dari Aspek Metalurgi, Surabaya: ITS, 2016.
- [2] K. B. Hansen, "Semen Indonesia gains newest OK™ mill," FLSMidth company, [Online]. Available: <http://cement.flsmidth.com/h/i/29066863-semen-indonesia-gains-newest-ok-mill>. [Accessed 4 maret 2016].
- [3] c. anselmo, reglara presentation, 2012.
- [4] a. hudgins and b. james, fatigue of threaded fastener, 2014.
- [5] S. malaei, R. alizadeh, M. Attarian and Y. Jaferian, A failure analysis study on the fractureed connecting bolts of a filter press, 2015.
- [6] S. Kalpakjian and T. R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, prentice hall, 2001.
- [7] ASM International, ASM Handbook volume 19 Fatigue and Fracture, ASM international, 1996.
- [8] A. Ibrahim, Analisa Kegagalan Baut Pengunci Tipe 3111020050 pada kompartmen-I Rawmill IIIB Indarung PT. Semen Padang, surabaya: ITS, 2013.
- [9] W. D. Callister, Material Science and Engineering, john wiley & son, inc., 2007.
- [10] ASM metal handbook vol 11.

(halaman ini\ sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Chalid Maulidi dilahirkan di samalanga, sebuah kecamatan di provinsi Aceh pada tanggal 6 september 1992. Penulis adalah putra ketiga dari 5 bersaudara dari pasangan Drs. Tgk. Sulaiman Saman dan Khairiah Hasyem. Penulis menghabiskan masa kecil di kota meulaboh hingga kelas 2 SD. Kemudian pindah kembali ke kampung halaman di samalanga dan melanjutkan di SD Matang Jareueng. Penulis kemudian melanjutkan sekolah ke MTs Jeumala Amal di Lueng putu, Pidie. Kemudian penulis memutuskan untuk melanjutkan belajar di sekolah kejuruan SMK N 1 Bireuen penulis pernah menjuarai lomba keterampilan siswa tingkat provinsi dan tingkat nasional. Tahun 2010 penulis melanjutkan belajar ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang studi sistem manufaktur.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan internal dan eksternal jurusan Teknik Mesin. Beberapa diantaranya yaitu menjadi panitia lomba mobil irit nasional yang diadakan oleh DIKTI dan berberapa kegiatan lainnya. Penulis juga mengikuti seminar-seminar yang diadakan kampus. Penulis juga pernah magang di PT. Arun LNG, PT. Dirgantara Indonesia, PT. INDOLAKTO purwosari dan PT. Semen Indonesia (Persero) tbk.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)